



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CARITA OKSMAN
KEMIALLISEN PUHDISTUSALUEEN LAYOUT-SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: professori Minna Lanz
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Kone- ja tuotantotekniikan tiedekun-
taneuvoston kokouksessa
9. marraskuuta 2016

TIIVISTELMÄ

CARITA OKSMAN: Kemiallisen puhdistusalueen layout-suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 75 sivua, 11 liitesivua

Tammikuu 2017

Automaatiotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotekniikka

Työn tarkastaja: professori Minna Lanz

Avainsanat: Layout-suunnittelu, Lean, tuotannonohjaus, riskianalyysi, yhden kappaleen virtautus

Suuria teollisuuslaitteita huoltavan kohdeyrityksen huoltoprosessiin kuuluvaa kemiallista puhdistusprosessia ja tuotantotilaa haluttiin kehittää. Tämän kehityksen yhteydessä suoritettiin tämän työn esittelemä layout-suunnitteluprojekti kustannus- ja riskianalyysineen. Työn tavoitteena on muodostaa muutama erilainen layout-ehdotus, josta kohdeyritys voi valita itselleen parhaiten sopivan. Tyypillisten layout-suunnitteluongelmien tavoin työ keskittyy ratkaisemaan, mitä resursseja prosessi tarvitsee tarjotakseen kohdeyrityksen toiminnoille riittävän kapasiteetin. Tämän selvittämiseksi ratkaistaan myös, mitkä kemiallisen puhdistuksen toiminnot prosessiin on taloudellisesti kannattavaa toteuttaa ja, millaisin keinoin.

Käyttökustannusarvioiden perusteella todetaan, että ruosteen-, karstan- ja kattilakivenpoistoaineiden käyttöönotto on kannattavaa. Maalinpoiston käyttöönotto muuttuu taloudellisesti kannattavaksi vasta, kun kohdeyrityksen maalinpoiston alihankintakustannukset kasvavat yli kaksinkertaisiksi nykytilanteeseen nähden. Kun kustannusten trendi on kasvussa ja maalinpoistolla on myös strategista arvoa, päätettiin layout-ehdotuksiin jättää maalinpoistoaltaalle tilavaraus. Niin ikään käyttökustannusten perusteella layout-suunnittelussa päätettiin myös käyttää jokaiselle kemikaalialtaalle omaa huuhteluallasta.

Prosessin vaatimien resurssien avulla kartoitettiin prosessin kapasiteetti erilaisin skenaarioin. Tasapainoisen kuormituksen ideaalitilanteesta muodostettiin tilallisiin rajoitteisiin ja Leanin mukaiseen prosessin etenemiseen sopiva kompromissi, jonka kapasiteetti arvioitiin kohdeyrityksen tarpeisiin riittäväksi. Tämän pohjalta muodostettiin fyysiset layout-ehdotukset ensin ruutupaperipiirroksin ja lopulta digitaalisin 3D-mallein.

Layout-ehdotuksia arvioitiin osatekijäanalyysillä, jolloin eri ehdotukset pisteytettiin sen mukaan, miten ne täyttivät esitetyt arviointikriteerit ja täten ehdotukset voitiin asettaa keskinäiseen paremmuusjärjestykseen. Parhaimmat pisteet saaneet hahmotelmat muokattiin tilallisten rajoitteiden ja riskianalyysien avulla lopullisiksi layout-ehdotuksiksi. Layout-ehdotusten lisäksi esitettiin myös kanban-signaalointiin perustuva tuotannonohjausmenetelmä eri töiden ajoitukseen kemialliseen puhdistusprosessiin.

ABSTRACT

CARITA OKSMAN: Layout Planning of a Chemical Cleansing Area

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 75 pages, 11 Appendix pages

January 2017

Master's Degree Programme in Automation Technology

Major: Production Engineering

Examiner: Professor Minna Lanz

Keywords: Layout design, Lean, production control, risk assessment, single item flow

A subject corporation of this thesis maintains large industrial machines and wanted to develop their maintenance process on behalf of a chemical cleansing process and its production area. As a part of this development, a layout design project, presented in this paper with all of its cost and risk analyses, is done. The objective of this thesis is to form a couple of different layout designs of which the subject corporation can choose the one that fits it best. Like typical layout design problems, this thesis focuses on resolving, what resources the process needs in order to fulfil an adequate capacity to subject corporation's needs. To resolve this, it is examined, what functions of the chemical cleansing are economic to execute and by which means.

According to operation cost assessments it is stated that chemicals for removal of rust, encrustation and sludge are economic to take in use. Commissioning of a paint remover becomes economic when subcontracting expenses for the paint removal become over double of the current expenses. As a trend for rising expenses in subcontracting and a strategic value of the paint removal have been noted, it is decided to leave a space reservation for the paint remover to the layout proposals. A decision to use specific rinsing pools for each of the chemical pools is also based on the operation cost assessments.

The capacity of the chemical cleansing process was examined with different scenarios of available resources. From the ideal situation of a balanced load on every resource, a compromise, with a capacity that was estimated to be sufficient for the needs of the subject corporation, was made due to spatial limitations and to gain a leaner process. From this, the physical layout proposals were constructed first by sketching on a cross section paper and finally by digital 3D modelling.

The layout sketches and proposals were evaluated with a factor analysis, where each proposal was rated based on how well selected evaluation criteria were fulfilled. This enabled rank ordering of the different sketches and proposals. The sketches with the highest rank rates were modified with the spatial limitations and the risk analysis into final layout proposals. With the layout proposals it is also presented a Kanban signalling based production control method for timing different tasks to the chemical cleansing process.

ALKUSANAT

Haluan heti alkuun esittää kiitokseni kohdeyrityksen tuotantopäällikkö Karille mahdollisuudesta tehdä diplomityö haastavasta, monipuolisesta ja kiinnostavasta aiheesta, sekä kaikesta tuesta matkan varrella. Kiitän myös korjaamosuunnittelija Pekkaa kärsivällisyydestä vastailla lukuisiin kysymyksiini, kannustuksesta epätoivon hetkillä ja hyvistä ideoista, joita sain lainata. Kiitän myös tuotannon työntekijöitä lämpimästä vastaanotostanne ja ajastanne, jonka varastin esitietoja keräillessäni. Askolle esitän erityiskiitokset työpöydän jakamisesta.

Nöyrimmät kiitokseni työn ohjaaja Hasse Nylundille, jota en voi riittävästi ylistää omistautumisestaan ohjaajan rooliin. Kiitän arvokkaista neuvoista, kriittisestä palautteesta, kannustuksesta, kaikesta. Kiitokseni myös työn tarkastajalle, professori Minna Lanzille tuesta ja asiasisällön opetuksesta vielä viime metreilläkin.

Lopuksi haluan kiittää vanhempiani hiipumattomasta kannustuksesta opiskeluun, uskota kykyihini ja tuesta tämänkin työn tehtailun aikana. Kiitokseni myös Aleksille korvaamattomasta tuesta ja kannustuksesta aivan jokaisena päivänä.

Tampereella, 21.12.2016

Carita Oksman

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	YRITYKSEN TOIMINNAN KEHITTÄMINEN	4
2.1	Layout-suunnittelu	4
2.1.1	Karkea- ja hienosuunnittelu	6
2.1.2	Layout-suunnitelman toteutus ja aikatauluttaminen	10
2.1.3	Layout-suunnittelun perustekijät ja -säännöt	11
2.2	Lean.....	12
2.2.1	Leanin hukat.....	13
2.2.2	Leanin työkaluja.....	14
2.2.3	Jatkuva kehittäminen.....	15
2.3	Tuotannon ohjaus	16
2.3.1	Tuotannon tasapainottaminen	17
2.3.2	Visuaalinen ohjaus	18
2.4	Turvallisuussuunnittelu	19
3.	KOHDEYRITYKSEN NYKYTILA	21
3.1	Tuotannon yleinen toimintamalli ja sen ohjaus.....	21
3.2	Materiaalivirrat kemiallisen puhdistusprosessin ympärillä.....	23
4.	SUUNNITTELUKOHDE.....	25
4.1	Puhdistusprosessin kuormitus, eteneminen ja toteutustapa.....	25
4.1.1	Puhdistusprosessi	26
4.1.2	Käyttäjien toimiminen alueella	28
4.2	Tila, sen ongelmat ja haasteet	30
4.2.1	Nykyinen layout.....	30
4.2.2	Layoutin tuomat haasteet	32
4.2.3	Toimintatavan tuomat haasteet	34
4.3	Turvallisuus.....	35
4.3.1	Tilan ja työkalujen tuomat turvallisuusriskit	36
4.3.2	Käyttäjien toiminnasta aiheutuva turvallisuus	37
5.	KOHTIEN LAYOUT-SUUNNITTELU	38
5.1	Lähtökohdat suunnittelun aloitukselle	38
5.2	Tämän työn tavoitteet.....	39
5.3	Tärkeimmät päätökset suunnittelussa.....	40
5.3.1	Käytettävät kemikaalit	40
5.3.2	Huuhtelun toteutustapa	45
5.3.3	Jätteenkäsittely	47
5.3.4	Prosessin vaatimat resurssit	49
5.4	Alueen kapasiteetti	51

6.	LAYOUT-EHDOTUKSET	55
6.1	Ehdotuksien arviointi	55
6.2	Riskianalyysi	56
6.3	Layout-ehdotusten yhteiset ominaisuudet	57
6.4	Layout-ehdotukset	59
6.5	Ehdotusten vertailu	62
6.6	Siirtymä nykytilasta	64
6.7	Ehdotus tuotantoprosessin ohjaukseen	65
7.	YHTEENVETO	69
	LÄHTEET	72

LIITE A HENKILÖSTÖN HAASTATTELULOMAKE

LIITE B RISKIANALYYSI

LIITE C KAPASITEETTITUTKINTA

LIITE D LAYOUT-EHDOTUSTEN ARVIOINTIKRITEERIT

LIITE E SIIRTYMÄN MUUTOSTYÖT

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	<i>P-Q -kaavio, mukaillen lähdettä [7, s. 3.4].....</i>	<i>5</i>
Kuva 2.	<i>Systemaattinen layout-suunnittelu, mukaillen lähdettä [7, s. 2.1].</i>	<i>7</i>
Kuva 3.	<i>Materiaalivirrat tuotantotilojen, pesu- ja tarkastuspaikkojen sekä kemiallisen puhdistuksen välillä.....</i>	<i>24</i>
Kuva 4.	<i>Kemiallinen pesuprosessi.</i>	<i>27</i>
Kuva 5.	<i>Prosessin todelliset etenemistavat.....</i>	<i>28</i>
Kuva 6.	<i>Kemiallisen puhdistusalueen nykyinen layout.....</i>	<i>31</i>
Kuva 7.	<i>Ehdotus A.....</i>	<i>60</i>
Kuva 8.	<i>Ehdotus B.....</i>	<i>61</i>
Kuva 9.	<i>Ehdotus C.</i>	<i>62</i>
Kuva 10.	<i>Materiaalivirrat kemiallisen puhdistusalueen uudistuksen ja tarkastuspisteiden yhdistämisen jälkeen.....</i>	<i>66</i>
 Taulukko 1.	 <i>Karkea- ja hienosuunnittelun vaiheet, mukaillen lähdettä [1, s. 153].....</i>	 <i>6</i>
Taulukko 2.	<i>Huuhtelun toteutustapojen, jätteenkäsittelymenetelmän ja huuhteluvesien vaihtovälien vaikutus käyttökustannuksiin.</i>	<i>46</i>
Taulukko 3.	<i>Tuotannon kapasiteetti ja rajoittava tekijä eri skenaarioilla.</i>	<i>53</i>
Taulukko 4.	<i>Ehdotelmien piirrosten ja mallien arviointitulokset.....</i>	<i>56</i>
Taulukko 5.	<i>Ehdotelmien välisiä eroavaisuuksia arviointikriteereihin nähden.....</i>	<i>63</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

NVA	No-value added. Toiminta, joka asiakkaan näkökulmasta ei lisää tuotteen arvoa
P-Q -kaavio	Valmistusmäärien (Quantity) mukaan laskevaan järjestykseen järjestetty kaavio yrityksen tuotteista (Product)
VA	Value added, asiakkaan näkökulmasta tuotteen arvoa lisäävä toiminta
VOC	Volatile Organic Compound, terveydelle haitallinen orgaaninen yhdiste
P	Yrityksen valmistamat tuotteet (Product)
Q	Tuotteen valmistusmäärät (Quantity)

1. JOHDANTO

Työn kohdeyrityksessä suoritetaan suurien teollisuuslaitteiden huoltoa useamman erillisen tuotantotilan kompleksissa. Useassa tuotantotilassa kärsitään tilojen ahtaudesta ja tämän ahtauden helpottamiseksi tuotantotiloissa on hiljattain tehty tilojen uudelleenresursointia tuotannon kehityshankkeena. Tässä yhteydessä yhden tuotantotilan pesupai-kan ahtautta helpotettiin poistamalla sieltä siellä olleet isot kemikaalialtaat. Tämän uudistuksen myötä on tullut ajankohtaiseksi kehittää myös laitteiden huoltotoimiin kuulu-vaan osien kemiallisen puhdistuksen prosessia ja prosessin käytössä olevaa puhdistusalu-etta.

Toisesta tuotantotilasta poistetut kemikaalialtaat halutaan ottaa käyttöön varsinaisella kemiallisella puhdistusalueella, koska alueen resurssit ovat kovaa vauhtia jäämässä pie-niksi huollettavien laitteiden yhä kasvaessa. Isompien kemikaalialtaiden käyttöönoton yhteydessä on tullut ajankohtaiseksi arvioida myös kemiallisen puhdistusprosessin laa-jentamista uusien kemikaalien käyttöönoton muodossa. Työn tavoitteena on paitsi arvi-oida eri kemikaalien käyttöönoton kannattavuutta myös tämän tuoman informaation perusteella suunnitella alueelle muutama ehdotus uudeksi tehokkaaksi ja käyttäjäystä-välliseksi layoutiksi.

Perinteisen layout-suunnittelun vaiheiden [1] mukaisesti työ on aloitettu tutkimalla ja analysoimalla kohdeyrityksen nykytilan resurssien riittävyyden, materiaalien virtauk-sien ja muiden layoutiin suoraan vaikuttavien tekijöiden lisäksi myös kohdeyrityksen sisäisiä toimintamalleja. Toimintamalleillakin on välilliset vaikutuksensa layout-suunnittelun kohteena olevaan prosessiin muun muassa prosessin laadun, resurssien eliniän ja tuotannon ohjauksen ja ajoituksen muodossa. Lähtötietojen kerääminen ja tutkimus suoritettiin täsmällisempien tietolähteiden puuttuessa ja laitehuollon pitkän läpimenoajan vuoksi teemahaastatteluin.

Haastateltaviksi valittiin kemiallisen puhdistusprosessin kanssa tekemisissä olevia työn-tekijöitä ja toimihenkilöitä. Kunkin haastateltavan antaman tiedon luetettavuutta arvioi-tiin henkilön kemiallisen puhdistusprosessin suorituskokemuksen pohjalta sekä suhteu-tettiin muiden haastateltujen antamiin vastauksiin. Erityisesti prosessiparametrein mää-rityksessä eri vastauksista muodostettiin täten eräänlainen painotettu keskiarvo, jossa prosessin kanssa eniten tekemisissä olevien henkilöiden sana sai korkeamman painoar-von, kuin prosessin kanssa vähemmän tekemisissä olevien henkilöiden. Koska haasta-teltavat henkilöt valittiin tarkoin ja heidän kokemuksensa prosessin suorituksesta ja toimintatapansa arvioitiin yksilöllisesti, voidaan saatuja tietoja ja tuloksia pitää melko luotettavina. Toimintamallien selvityksen tavoitteena oli kartoittaa yrityksen nykytilaa

ja prosessin variaatioita, minkä vuoksi eri työntekijöiden toimintamallit saivat saman painoarvon. Lisäksi jokaisen haastatellun henkilön ehdotukset kemiallisen puhdistusprosessin ja alueen layoutin parantamiseksi käsiteltiin samanarvoisina. Kohdeyrityksen laitehuollon läpimenoajan ja eri toimintoihin vaadittavien aikojen ollessa pitkiä lähtötiedotkin saavat olla melko epätasaisia ilman, että tietojen tarkkuus vaikuttaa lopputulokseen. Joka tapauksessa on huomioitava, että teemahaastatteluin kerätyillä lähtötiedoilla saadaan parhaimmassakin tapauksessa vain suuntaa-antavia tuloksia.

Kohdeyrityksen nykytilan selvityksen jälkeen aloitettiin varsinainen layout-ehdotusten kehittäminen. Layout-ehdotusten muodostuksessa on käytetty tukena Lean-menetelmän periaatteita ja työkaluja erilaisten hukkien tunnistukseen ja eliminointiin. Esimerkiksi arvovirta-analyysin [2, s. 37-49] avulla tunnistettiin prosessissa arvoa lisäävät (VA, Value Added) ja lisäämättömät (NVA, No-value added) työvaiheet. Tiukasti ajatellen koko kemiallisen puhdistuksen prosessi on asiakkaalle arvoa lisäämätön toiminto, mutta puhdistus on pakollista huoltotoimenpiteiden suoritettavuuden vuoksi. Tämän vuoksi prosessi pilkottiin sen sisäisiin VA- ja NVA-vaiheisiin. Eliminoinnin alla olevat NVA-toiminnot liittyvät lähinnä kappaleiden käsittelyihin ja liikutteluun. Lisäksi pyrittiin Leanin mukaiseen yhden kappaleen virtaukseen [3, s. 87-103] prosessin läpi.

Layout-ratkaisujen lisäksi kappaleiden virtausta ja prosessin sujuvuutta tehostetaan esittämällä prosessia tukeva ohjausmenetelmä. Tuotannonohjausmenetelmillä voi olla ratkaiseva rooli kappaleiden virtauksen aikaansaamisessa ja työjonojen lyhentämisessä. Ohjausmenetelmän kehittäminen koettiin asiaankuuluvana, koska kemiallisesta puhdistusprosessista merkittävä osa kappaleista jatkaa tuotannon pullonkaulaksi identifioituun osien kunnon tarkastukseen. Keskittymällä tuotantoa rajoittavan resurssin töiden ajoitukseen voidaan vähentää varastotilan tarvetta rajoittavan resurssin läheisyydessä.

Seuraavassa luvussa esitellyille työn taustalla vaikuttaville teorioille on yhteistä niiden pyrkimys yritystoiminnan kehittämiseen. Kehittäminen, ilman mittareita kehityksen arviointiin on kuitenkin hyödytöntä, kun ei voida konkreettisesti ja objektiivisesti osoittaa, mihin suuntaan kehitys vie toimintaa ja kuinka paljon. Taustalla vaikuttavien teorioiden avulla on layout-suunnitteluun etsitty mitattavissa olevia parametreja, joiden perusteella suunnittelun eri vaiheita on voitu arvioida. Analyttisen laskennan keinoin on voitu tehdä päätelmiä niin kannattavimman toimintamallin kuin parhaimman layout-ehdotuksenkin suhteen.

Layout-suunnittelun taustalla vaikuttavien haasteiden ja toimintaympäristön vaikutusten ymmärtämiseksi työn luvuissa 3 ja 4 perehdytään tarkemmin yrityksen nykytilaan. Ensin luvussa 3 tutustutaan yrityksen yleisiin toimintamalleihin ja niiden vaikutuksiin yrityksen toiminnalle sekä pohditaan niitä tuotannonohjauksen näkökulmasta. Lisäksi perehdytään kemiallista pesuprosessia ympäröiviin materiaalivirtoihin. Tämän jälkeen luvussa 4 selvitetään tarkemmin varsinaisen layout-suunnittelun kohteena oleva kemiallinen puhdistusprosessi ja tutustutaan sen nykyisiin tiloihin, resursseihin sekä alueen

tämänhetkisiin haasteisiin niin käytettävyyden, huollettavuuden kuin turvallisuudenkin näkökulmista.

Nykytilanteen esittelyn jälkeen luvussa 5 esitellään tarkemmin työn lähtökohdat ja tavoitteet. Tämän jälkeen työ etenee layout-suunnittelun vaiheiden mukaisesti tutkien kemialliseen pesuprosessiin tarvittavia resursseja ja niiden riittävyyttä. Luku 5 siis esittelee näihin fyysisiin resursseihin liittyvät suunnittelupäätökset perusteluineen. Varsinaiset layout-ehdotukset esitellään arviointineen luvussa 6. Lisäksi esitetään tarvittavat muutokset ja niiden toteutusjärjestys, jotta nykytilasta päästään esitetyn ehdotuksen tilaan.

2. YRITYKSEN TOIMINNAN KEHITTÄMINEN

Tuotantotoiminnan erilaiset pienet ongelmat toimivat viitteinä siitä, että toiminnassa olisi kehittämisen varaa. Ongelmana on kuitenkin tunnistaa, millaisen muutoksen tarpeesta on kyse, kun tietyt ongelmat voivat johtua useasta eri syystä. Tutkimalla tuotantotoimintaa kokonaisuutena ja tunnistamalla ongelmat toiminnan eri osa-alueissa, on kuitenkin mahdollista rajata esimerkiksi, milloin uusi layout toimii ratkaisuna ongelmiin ja milloin jokin muu kehitystoimi tuo toivotun tuloksen. [1, s. 283-285.]

Tässä luvussa esiteltävät tuotannon kehittämisen näkökulmat ovat toistensa kanssa hyvin vahvasti yhteneviä. Esimerkiksi layout-suunnitteluun on olemassa laaja kirjo omia teoksiaan, joita Lean- ja ohjausmenetelmien tuntemus avartavat. Eri koulukunnissa parhaimmiksi todettujen menetelmien ja tavoitteiden yhdistelyllä voidaan yritystoiminnan jokaista osa-aluetta kehittää kehitystarpeen mukaisilla työkaluilla. On merkittävää ymmärtää, että kehittämisen työkalut pitää valita käsillä olevan ongelman mukaan eikä suinkaan etsiä uusia ongelmia, jotka sopivat tietyllä työkalulla toteutettaviksi [4, s. 12-13].

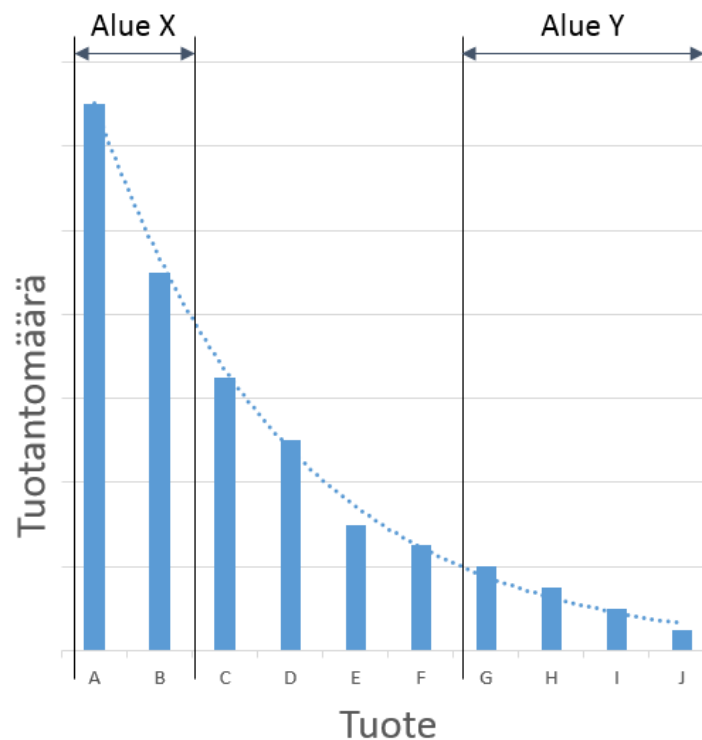
2.1 Layout-suunnittelu

Layout-muutokset ovat ajankohtaisia aina, kun tuotteeseen tehdään muutoksia tai nykyisen tuotteen tilalle tulee kokonaan uusi tuote. Tämän lisäksi muutokset tuotevolyymeissä, markkinoiden painopisteiden maantieteellisissä sijainneissa [5, s. 94-97], uusien resurssien hankinnat, materiaalien virtauksen ongelmat ja korkea keskeneräisen tuotannon määrä [6, s. 18-20] voivat aiheuttaa tarpeen layout-muutokseen. Edellä mainitut muutokset voivat vaatia parannuksia joko tuotantoprosesseissa tai resursseissa, jotta yrityksen toiminta pysyy tehokkaana. Prosessien ja resurssien parannusten yhteydessä onkin loogisin ajankohta nimenomaan layout-muutokselle, koska prosessit, niiden resurssit ja vaadittu layout ovat toisiinsa erittäin vahvasti yhteydessä. Muutos missä tahansa näistä kolmesta aiheuttaa tarpeen tarkastella kahta muutakin. Layout-muutoksen yhteydessä on oiva tilaisuus uudistaa myös muita tuotannon toiminnassa piileviä ongelmia työntekijöiden toimintamalleista tuotannonohjauksen menetelmiin. [1, s. 283.] Layout-muutokset käsittävät niin uuden tuotantolaitoksen suunnittelun kuin pienet muutokset tai resurssien uudelleenjärjestelyt olemassa olevassa layoutissa [5, s. 98-100].

Layout-suunnittelulla pyritään kehittämään tuotantoa muun muassa yksinkertaistamalla tuotantoprosesseja, minimoimalla materiaalien käsittelyä ja vähentämällä tuotantoon sitoutunutta pääomaa. Yksinkertaisemmat prosessit ja harvemmat kappaleiden käsittelykerrat nopeuttavat prosessin läpimenoaikaa ja täten vähentävät prosessissa kesken-

eräisten töiden määrää, mikä puolestaan tarkoittaa pienentyntä sitoutunutta pääomaa. [5, s. 100-104.] Näin ollen hyvällä layoutilla on merkittäviä etuja ajattelemattomasti toteutettuihin ratkaisuihin verrattuna. Kokonaisvaltaisesti hyvin suunniteltu layout parantaa yrityksen toimintaa edellä esitettyjen seikkojen lisäksi myös selkeyttämällä materiaalien virtausta, säästämällä tuotantotilaa ja parantamalla eri resurssien käyttöastetta. Lisäksi hyvin suunnitellussa layoutissa on huomioitu tuotannon valvonnan helppous, keskitytty vähentämään erilaisia työntekijöihin ja resursseihin kohdistuvia riskejä sekä parantamaan tuotteen laatua. [1, s. 4-7.]

Tuotannon työntekijän näkökulmasta hyvä layout vähentää työntekijän työtaakkaa ja minimoi manuaalista kappaleiden käsittelyä. Hyvin suunniteltu layout vähentää erilaisia työympäristön riskejä ja näin ollen vähentää onnettomuuksia ja parantaa työoloja. [5, s. 110-111.] Työolojen huomiointi esimerkiksi jo valaistusolojen huomioinnilla parantaa työntekijöiden moraalia ja työtyytyväisyyttä [1, s. 5].



Kuva 1. P-Q -kaavio, mukaillen lähdettä [7, s. 3.4].

Parhaimman tuloksen tuova layout-tyyppi on vahvasti riippuvainen tuotannon peruspiirteistä. Kaksi layoutiin eniten vaikuttavaa tuotannon ominaisuutta ovat valmistettavat tuotteet (P) ja niiden tuotantomäärät (Q). Kuvassa 1 esitetyn tuotteista ja tuotantomäärästä muodostetun P-Q-kaavion perusteella voidaan määrittää, miten mitkin tuotetta on kannattavinta valmistaa. Tuotteita, joiden variaatiot ovat vähäiset ja volyymit suuret (alue X) on kannattavinta tuottaa tuotantolinjalla, kun taas vähäisen volyymin ja suuren variaation tuotteita (alue Y) yksittäistuotantona. Tässä välissä olevien tuotteiden valmistus on kannattavinta edellä mainittujen menetelmien välimuodolla, esimerkiksi tuotan-

tosoluissa. [7, s. 3.4–3.7.] Teknologian kehityksen myötä tuotteista ja niiden valmistusmääristä voidaan myös matemaattisten mallien avulla ratkaista kannattavin tuotantotapa [8].

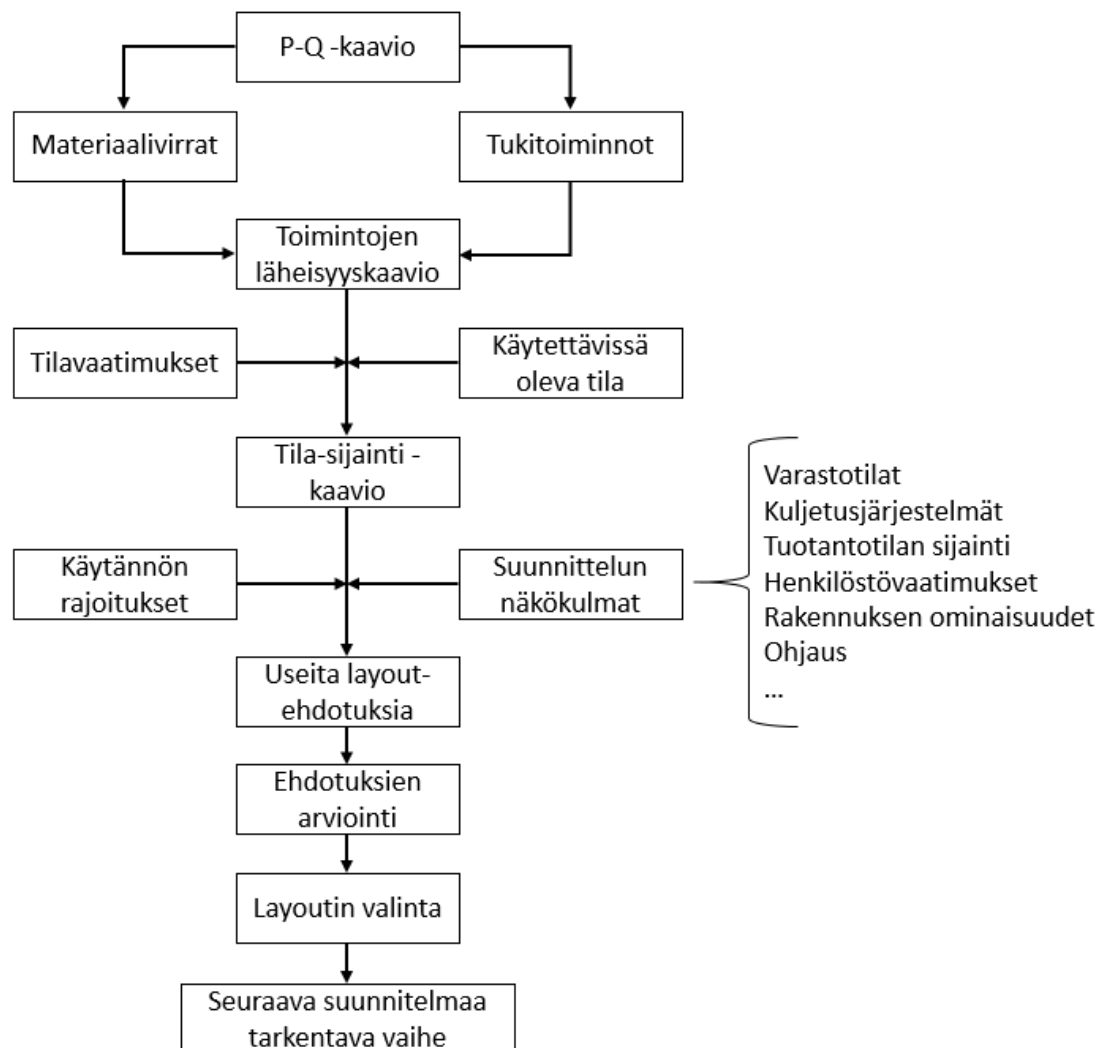
2.1.1 Karkea- ja hienosuunnittelu

Layout-suunnittelu voidaan jakaa karkeasti neljään vaiheeseen: I - tuotantoympäristön fyysisen sijainnin valintaan, II - karkeasuunnitteluun, III - hienosuunnitteluun ja IV - fyysisen layoutin asennukseen [1, s. 153]. Tässä työssä keskitytään pääasiassa karkea- ja hienosuunnittelun vaiheisiin, sekä luodaan pohja layoutin asennukselle. Mutherin [1, s. 153] mukaan karkea- ja hienosuunnittelun vaiheet etenevät systemaattisesti kuuden eri vaiheen läpi. Nämä vaiheet ovat ongelman määrittäminen (1), faktojen kerääminen (2), ongelman uudelleenmäärittäminen (3), faktojen arviointi ja päätökset (4), toiminta (5) ja tarkemmin tutkiminen (6). Eri vaiheiden yksityiskohtaisempi sisältö on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Karkea- ja hienosuunnittelun vaiheet, mukaillen lähdettä [1, s. 153].

	Vaihe II Karkeasuunnittelu	Vaihe III Hienosuunnittelu
Vaihe 1 Määritä ongelma	Kehitä selkeä kuva layout-tehtävästä, sen laajuudesta, huomioitavista ja tarkastelun ulkopuolelle jätettävistä seikoista	Luo selkeä kuva tehtävästä, katettavista alueista ja yksityiskohtaisuuden taso
Vaihe 2 Kerää faktat	Kerää faktat nykyisestä tilasta, tulevaisuuden suunnitelmista ja ennusteista sekä tuotantovaatimuksista ja tukitoiminnoista	Tutki uudestaan ja tarkenna tietoja mm. tuotantovaatimuksista, alueesta, tuotteista, tuotantomääristä ja -ajoista, kustannuksista ja tuotantoa tukevista toiminnoista
Vaihe 3 Määritä ongelma uudelleen	Tarkista tehtävänanto kerättyjen faktojen valossa ja tee tarvittavat muutokset ja lisäykset	Tarkista tehtävänanto kerättyjen faktojen valossa ja tarkista tietojen riittävyys ja laajuus
Vaihe 4 Analysoi ja päätä	Arvioi faktoja ja määritä tavalliset materiaalivirrat huomioiden kaikki virtaan vaikuttavat tekijät	Määritä ja mallinna materiaalivirrat, arvioi tietoja jokaisesta näkökulmasta ja päätä yksityiskohtainen layout jokaiselle alueelle ja toiminnolle
Vaihe 5 Toimi	Selkeytä, tarkista ja esitä suunnitelma, hyväksytty suunnitelma	Selkeytä, tarkista ja esitä suunnitelma, hyväksytty suunnitelma alueella työskentelevillä, viimeistele ja hyväksytty asennus
Vaihe 6 Tutki tarkemmin	Katso Vaihe III, hienosuunnittelu	Valmistele yksityiskohtaiset piirrokset asennukseen, tee asennusten ajoitukset, asenna ja varmista suunnitelmien mukainen toimivuus

Taulukon 1 esittämä layout-suunnitteluprosessi sisältää jo viitteitä vaiheen yksityiskoh-
 taisemmasta suorituksesta. Hieno- ja karkeasuunnittelun vaiheet voidaankin esittää
 Mutherin [7, s. 2.1-2.8] mukaan etenevän systemaattisesti kuvan 2 esittämällä tavalla.
 Kuvan 2 mukaan layoutsuunnitteluprojekti alkaa muodostamalla ensin tuotteiden P-Q –
 kaavio ja tutkimalla tuotteiden materiaalivirrat ja kartoittamalla tuotannon tukitoimin-
 not. Näistä lähtötiedoista rakennetaan materiaalivirtojen suuruuksien ja eri toimintojen
 fyysisen läheisyyden tarpeen perusteella karkea kaavio, josta tilavaatimusten ja käytet-
 tävissä olevan tilan tuoman informaation pohjalta muodostuu ensimmäinen karkea
 layout-luonnos tila-sijainti -kaavion muodossa. Tätä luonnosta muokataan muiden tuo-
 tantoon vaikuttavien tekijöiden ja käytännön rajoitteiden avulla. Tässä vaiheessa muo-
 dostetaan useampi erilainen layout-ehdotus, joista lopulta valitaan tietyn arviointimen-
 telmin lopullinen, toteutettava layout. Karkea- ja hienosuunnittelun ero on käytännössä
 käsiteltävän tiedon tarkkuudessa ja vaikutusalueella. Esimerkiksi karkeasuunnittelun ma-
 teriaalivirtojen analysointi tehdään tuotantosolujen välisellä tasolla, kun taas hienosuun-
 nitelussa keskitytään solujen ja osastojen sisäisiin materiaalivirtoihin.



Kuva 2. Systemaattinen layout-suunnittelu, mukaillen lähdettä [7, s. 2.1].

Layout-suunnitteluprosessi on suunniteltavasta kohteesta ja suunnittelun tavoitteista huolimatta hyvin samankaltainen ja noudattelee kuvassa 2 esitettyä Mutherin systemaattisen suunnittelun mallia. Eräät lähteet [9][10] tiivistävät suunnitteluprosessin sisältämään tarkastelunalaisten tuotteiden valinnan ja analysoinnin, tuotantoprosessin suunnittelun ja kehityksen, tarvittavan infrastruktuurin määrittämisen ja valinnan sekä layout-suunnittelun. Myös layoutin valinta on osa layout-suunnitteluprosessia [9]. Suunnittelun voidaan ajatella kulkevan myös tahtiajan ja työjärjestyksen määrittämisen ja tuotannon tasapainottamisen vaiheiden kautta [11] tai vaihtoehtoisesti tiedon keruun, resurssien laskemisen, materiaaliveirtojen optimoinnin, standardityön kehittämisen ja resurssien järjestelyn kautta suunnitelman kehittämiseen ja testaamiseen [12, s. 248-252].

Esitettävästä riippumatta kaikki layout-suunnitteluprosessit korostavat lähtötietojen keruun ja analysoinnin tärkeyttä. Lähtötiedoista erityisen tärkeitä ovat tuotekohtaiset valmistusmäärät ja tuotteiden valmistusprosessit ja -sekvenssit. Valmistusmäärien ja tuotteen valmistusprosessin tuntemuksen avulla suunnitellaan layoutiin sovitettavien resurssien tyypit ja määrät, jotta voidaan saavuttaa suunniteltujen valmistusmäärien toteuttamiseksi tarvittava tahtiaika ja lisäksi käyttää resursseja korkeilla käyttöasteilla. [1, s. 40-44][5, s. 129-133][7, s. 7.2-7.6.] Tarvittavien resurssien määrän selvittäminen voidaan tehdä laskennallisesti joko karkealla tasolla tuotekohtaisten valmistusaikojen ja -määrien perusteella tai käyttämällä eniten valmistettavien tuotteiden painotettuja valmistusaikoja [13, s. 111-118]. Tarvittavien resurssien määrä ja tyyppi vaikuttavat myös toiminnon vaatimaan tilantarpeeseen, joka koostuu varsinaisen resurssin ja sen vaatimien liikkeiden lisäksi muun muassa tarvittavien työkalujen ja varastotilojen koosta [5, s. 140-141][14, s. 5-7]. Yleensä tuotteet eivät vaadi aivan yhtä pitkää tuotantoaikaakaan jokaiselta valmistusprosessin resurssilta, minkä vuoksi joidenkin resurssien käyttöasteet saattavat jäädä hyvinkin mataliksi. Jotta kaikkia resursseja hyödynnettäisiin tehokkaasti, on näiden pienemmällä kuormituksella olevien resurssien kohdalla hyvä pohdita mahdollisuutta resurssin jakamiseen. Resurssien jakamisella voidaan erityisesti lyhyiden eri töiden välisten asetusaikojen vallitessa mahdollistaa resurssin suurempi käyttöaste sekä siirtymä erätuotannosta kohti yksittäisen kappaleen virtausta. [15.]

Valmistettavien tuotteiden analysoinnin yhteydessä selvitetään tuotteiden tuotantoprosessit ja -sekvenssit, sekä määritetään niiden pohjalta tuotannon materiaaliveirrat. Materiaaliveirtojen pohjalta muodostetaan päätökset eri resurssien sijoittelusta toistensa suhteen, kun suurien materiaalmäärien siirtomatkat kannattaa muun muassa kustannussyistä pitää mahdollisimman lyhyinä. [1, s. 193-209][5, s. 122-129][7, s. 5.1-5.17][14, s. 7-9.] Materiaaliveirtojen lyhentäminen voidaan suorittaa sijoittelemalla resurssit erilaisten tuotantotyyppien ja -tarpeiden mukaan eri tavoin esimerkiksi I- tai U-tyypin layouteiksi. Layout-tyyppien luokittelua käytetään erityisesti tuotantosolujen ja hienosuunnittelun yhteydessä [12, s. 245-248][16], mutta teoriat ovat sovellettavissa myös karkeamman suunnittelun tarpeisiin.

Karkeasuunnittelu keskittyy eri tuotanto-osastojen keskinäiseen järjestämiseen, kun taas hienosuunnittelussa keskitytään tarkemmin työntekijöiden turvallisuuteen ja työergonomiaan sekä esimerkiksi tuotannon laadunvarmistuksen ja kuljetusjärjestelmien toteutuksiin [10][17, s. 133-135]. Erityisesti työergonomian suunnitteluun pitää kiinnittää huomiota, jotta työntekijät työskentelevät mahdollisimman tehokkaasti. Ergonomiasuunnitteluun kuuluu muun muassa työskentelytasojen korkeuden ja tarvittavien resurssien sijainnin määrittäminen, jotta työ voidaan suorittaa työntekijän luonnollisilla liikeradoilla. Liikeratojen lisäksi ergonomiasuunnittelulla huomioidaan liikkeiden rasittavuus ja pyritään esimerkiksi siirtämään rasitus työntekijän hartioilta tämän käsiin ja kyynärvarsiin. [11.] Tähän voidaan käyttää apuna erillisiä ihmisten raajojen mittoihin ja luonteviin liikeratoihin perustuvia mittatietoja [11][18] sekä liikkeiden tehokkuuden arviointiin liikkeiden suoritusnopeuksiin liittyvää aikatieta [1, s. 341-342]. Muita hienosuunnittelussa huomioitavia seikkoja ovat muun muassa hengitysilman puhtaus, valaistus, melu ja yleinen viihtyvyys [1, s. 99][19, s. 23].

Teknologian kehitys on mahdollistanut entistä analyyttisemmän lähestymistavan layout-suunnitteluun paitsi laskennallisten myös toimintaa visuaalisesti simuloivien mallien muodossa. Matemaattisilla malleilla voidaan määrittää paitsi kannattavin tuotantomuoto [8], myös etsiä materiaalivirtojen kannalta parhaimmat tuotannon osa-alueiden keskinäiset sijainnit [5, s. 223-276][20]. Laskennallisilla malleilla [21] on myös päästy tuotannon osa-alueiden muotojen vapautumiseen, jolloin simuloinnin tuloksena muodostuvat karkeat suunnitelmat tukevat tehokkaammin materiaalien virtaamista. Tämän lisäksi useat tutkimukset [22][23] ovat tähdänneet materiaalivirta-etäisyysanalyysien lisäksi useamman suunnittelukriteerin, kuten keskeneräisen tuotannon määrän ja tarvittavien kuljetusvälineiden lukumäärän samanaikaiseen optimoimiseen. Vaikka layout-suunnitteluun on kehitetty tietokoneavusteisia työkaluja, perinteisemmät piirustukset papereille ja fyysiset mallit [1, s. 223-237][5, s. 145-170][7, s. 12.1-12.14] ovat edelleen hyödyllisiä menetelmiä layout-suunnitelmien visualisointiin.

Layout-suunnitelmien visualisointi helpottaa suunnitelmien toimivuuden verifiointia sekä suunnitelmista keskustelua asiaan perehtymättömien kanssa [1, s. 223]. Visualisoinnin toteuttaminen tietokonesimulaation yleensä nopeuttaa erilaisten layout-suunnitelmien toimivuuden ja toimintaparametrien tutkimusta niin toimintastrategioiden kuin -parametrienkin osalta. Lisäksi tietokonesimulaatiot antavat mahdollisuuden entistä laajemman ja tarkemman tiedon käyttöön. Tietokonesimulaatioilla voidaan jo ennen tuotantoympäristön olemassaoloa tunnistaa sen pullonkaulat ja ongelmakohdat. Näin ollen toimivaan lopputulokseen voidaan päästä nopeammin ja sujuvammin kuin perinteisten visualisointimenetelmien kanssa. [24, s. 14.2-14.3][25.] Tietokonesimulointi sopii moneen käyttötarkoitukseen suunnitelmien kehittämisestä [26] niiden analysointiin ja validointiin [24, s. 14.2-14.3][27]. Lisäksi simuloinnin kiinnittymispiste kannattaa miettiä layout-suunnitteluprojektin mukaan siten, että erityisesti uusien layoutien suunnittelussa simulointia hyödynnettäisiin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa [25].

Layout-suunnitelmia arvioidaan useilla erilaisilla menetelmillä. Perinteisistä menetelmistä mainittakoon osatekijäanalyysi ja kustannusvertailu. Osatekijäanalyysissä layout-suunnitelmia arvioidaan painotetuin arviointikriteerein, jolloin suunnitelmat saadaan pisteytetty ja asetettua paremmuusjärjestykseen. [1, s. 247][5, s. 181-182][7, s. 10.3-10.11][14, s. 14-17.] Kustannusvertailussa vertaillaan eri ratkaisuvaihtoehtojen muodostamia kustannuksia, yleensä vuositasolla, jotta voidaan valita joko taloudellisesti tai muuten kustannusrakenteeltaan miellyttävämpi vaihtoehto [1, s. 248-250][5, s. 211-214][7, s. 10.12-10.20]. Kustannusvertailun laajuus on määritettävä tapauskohtaisesti, sillä tuotantotoiminnan kustannukset muodostuvat monesta lähteestä, joita kaikkia voidaan kehittää [28]. Layout-suunnittelun yhteydessä on mahdollista vaikuttaa muun muassa työskentelytapojen ja käytettävien resurssien aiheuttamiin kustannuksiin. Myös suunnitelmien arvioinnin ja valinnan menetelmiä on tutkittu lähiaikoina. Tutkimuksissa [29][30] on selvitetty erilaisten arviointimenetelmien vaikutuksia valittavan layoutin ominaisuuksiin ja pääsääntöisesti tutkimusten tulokset kannustavat suunnitelmien arviointiin ja valintaan ryhmässä. Layoutin piirissä työskentelevien huomiointi suunnittelu-prosessin aikana on syytä ottaa huomioon myös ennen varsinaista layoutin valintaa. Henkilökunnan osallistaminen suunnitteluprosessiin edesauttaa layout-muutoksen yleistä hyväksyntää ja toimintojen toteutumista suunnitellulla tavalla. [1, s. 63][5, s. 164-165][7, s. 10.10.]

2.1.2 Layout-suunnitelman toteutus ja aikatauluttaminen

Etenkin vanhan layoutin kehitys- ja muutoshankkeissa fyysisten layout-muutosten toteutukset on hyvä ajoittaa sellaiseen toiminnan hetkeen, jolloin ne vähiten häiritsevät normaalia tuotantotoimintaa, kuten erillisten vuosihuoltojen yhteyteen tai viikonloppuihin. Yrityksen toiminnan nopea palauttaminen normaaliin tilaansa on tärkeää, minkä vuoksi tarvittavat layout-muutokset on toteutettava ripeästi. Tämän toteuttaminen vaatii hyvää muutoksen suunnittelua. [1, s. 266-268.]

Layout-muutoksen suunnittelu esitetään seitsenvaiheisena prosessina, joka alkaa muutostöiden kartoituksesta ja suunnittelusta ja jatkuu muutostöihin vaadittavien resurssien hankkimiseen. Tämän jälkeen valmistellaan tilat sekä resurssien uudelleensijoituspaikassa, että resurssien lähtöpisteessä, minkä lisäksi kuhunkin resurssiin kiinnitetään valmiiksi tarkka tieto siitä, mihin resurssi on menossa ja milloin. Seuraavaksi resurssit siirretään uuteen paikkaansa ja asennetaan kohdilleen, minkä jälkeen tuotanto voidaan käynnistää ja suorittaa tarvittavat asennusten viimeistelyt. Viimeiseksi siivotaan muutostyön jäljet, jotta uudistetusta layoutista ei tule väliaikaisen layoutin tuntuista. [1, s. 266-274][5, s. 165-170.]

Muutostöissä tarvittavat työvaiheet ja niiden keskinäinen määräytyminen riippuvat tarvittavien muutostöiden laajuudesta. Muutostyön sujuvuuden kannalta olennaisinta on, että resurssin siirron yhteydessä resurssin lopullinen sijoituspaikka on jo tyhjennetty, jotta resurssi voidaan asettaa suoraan paikalleen. Tämän takaamiseksi on hyvä tarkastel-

la nykyistä ja tulevaa tilaa samanaikaisesti, jotta voidaan nähdä, mitä alueita pitää tyhjentää ja milloin. [5, s. 168-169.] Myös samalla sivulla sekä suunnitelman että tarvittavat toimenpiteet esittävä Gantt:n kaavio [1, s. 269-271] on käyttökelpoinen menetelmä työvaiheiden ajoittamiseen ja hallintaan.

2.1.3 Layout-suunnittelun perustekijät ja -säännöt

Tuoreetkin layout-suunnittelua ohjaavat teokset, kuten [6, s. 33-38], viittaavat yhä Mutherin [1, s. 27-132] esittämiin suunnittelussa huomioitaviin tekijöihin, joita hyödynnetään paitsi layout-suunnitelman muodostamisessa, myös suunnitelman arvioinnissa. Nämä huomioitavat tekijät ovat materiaalit, kone- ja työntekijäresurssit, liikkeet, odotus, tukitoiminnot, tuotantorakennus ja muutos. Tekijöiden huomioinnilla pyritään varmistamaan, että layout-suunnitelman tilat tukevat tuotteiden valmistuksen sujuvaa etenemistä sopivalla määrällä resursseja sekä muun muassa tarvittavaa varastotilaa ja tilojen muunneltavuutta yrityksen tarpeiden muuttuessa.

Huomioonotettavien tekijöiden lisäksi layout-suunnittelun toteutukselle on muutama perussääntö. Tärkein sääntö on ensin suunnitella kokonaisuus ja tarkentaa vasta tämän jälkeen yksityiskohtiin. [1, s. 145-146][6, s. 30.] Tämä suunnittelujärjestys on mahdollista toteuttaa, kun layout-suunnittelun eri päävaiheita toteutetaan osittain päällekkäisinä. Tällöin hienosuunnittelun aikana tarkemmin määriteltävät tiedot kuten eri resurssien ympärilleen vaatimia tilantarpeita voidaan hyödyntää jo karkeasuunnitelman tilasijaintikaavion muodostamisessa. [1, s. 147.]

Toinen merkittävä sääntö layout-suunnittelun saralta on ensin suunnitella toimintojen kannalta ideaalinen tilanne ja muokata siitä käytännöllinen ja toteutuskelpoinen versio. Layout-suunnittelun saralla yleisesti tunnettu fakta on, että ideaalitulannetta ei voida täysin saavuttaa muun muassa erilaisten fyysisten rajoitteiden vuoksi. Muokkaamalla toteutuskelpoinen layout-suunnitelma ideaalitulanteesta, lopullinen layout-suunnitelma on kuitenkin niin lähellä ideaalista kuin on mahdollista. [1, s. 146][6, s. 31.]

Layout-suunnittelu toteutetaan määrittämällä tuotannon prosessit ja tarvittavat fyysiset resurssit tuotteiden ja niiden materiaalivaatimusten ympärille. Tästä tilanteesta jatketaan suunnittelemalla layout prosessin ja resurssien ympärille ja edelleen tuotantorakennus layoutin ympärille. [1, s. 148-149.] Tämän pohjalta lähde [14, s. 5] on tavallaan myös oikeassa väittäessään, että suunnittelu tulee toteuttaa kohti yhä suurempia kokonaisuuksia. Suunnittelu on kannattavinta toteuttaa yhteistyössä muiden layoutin vaikutuspiirissä olevien henkilöiden kanssa, jotta kaikki näkökulmat tavarantoimituksesta tuotannonohjaukseen ja tilojen ja resurssien huollettavuuteen tulevat huomioiduiksi. Tämän yhteistyön ja erilaisten virheiden aikaisemman huomaamisen helpottamiseksi layout-suunnittelu kannattaa toteuttaa selkeiden visualisointien avulla. [1, s. 149-151.]

2.2 Lean

Yritykset ovat jo pitkään hyödyntäneet Leanin periaatteita saavuttaakseen sujuvan, tasapainoisen ja tehokkaan tavan toimia. Leanin periaatteet on laajennettavissa yritystoiminnan jokaiselle osa-alueelle, minkä vuoksi niitä sovelletaankin lähes minkä tahansa kehitystoimen yhteydessä. [4, s. 5-6.] Leanin mukaisessa toimintamallissa on viisi pääperiaatetta, joiden avulla kehitetään yrityksen toimintaa poistamalla siitä erilaisia tunnistettuja hukkia. Leanin mukainen toiminta alkaa tuotteen arvon määrittämisellä. Arvon määrittelyn yhteydessä on tärkeää ymmärtää, että koko tuotteen, eikä pelkästään oman yrityksen osuuden, arvo määritellään asiakkaan näkökulmasta. [2, s. 37-49.] Tuotanto-toiminnan lisäksi Leanin periaatteiden soveltaminen esimerkiksi jakeluverkoston rakentamiseen ja markkinointitapoihin sekä asiakaspalveluun mahdollistavat asiakkaiden py- syvyyden, kun asiakastytyväisyys tuotteen koko elinkaaren ajan säilyy [31, s. 178-184]. Kun tuotteen arvo on selvillä, voidaan tuotteelle suorittaa arvovirta-analyysi, jonka perusteella toimintaa voidaan kehittää poistamalla tuotannosta NVA-toimintaa [2, s. 37-49].

Arvovirta-analyysin jälkeen toimintaa kehitetään virtauttamalla tuotteen valmistusta. Pyrkimyksenä on päästä tuotantotoiminnassa mahdollisen lähelle ideaalista yhden kappaleen keskeytymätöntä virtausta koko tuotantojärjestelmän läpi. Tuotannon layout ja resurssit vaikuttavat voimakkaasti tavoitteen täyttymiseen, minkä vuoksi Leanin mukainen virtausajattelu kannattaa ottaa osaksi jokaista layout-suunnitteluprojektia. Resurs- sien ja layoutin määrittelyn lisäksi ideaalisen yhden kappaleen virtauksen toteutuminen vaatii tuotteen eri osien valmistusta juuri ajallaan seuraavan vaiheen tarpeeseen siten, että osa tai seuraava vaihe ei joudu odottamaan työn etenemistä. [2, s. 58-59.] Siirtymä erätuotannosta kohti yhden kappaleen virtausta mahdollistaa paitsi nopeamman yksittäi- sen kappaleen läpimenoajan, myös nopeamman palautteen esimerkiksi laatu- poikkeamis- ta [6, s. 20-21]. Lisäksi yhden kappaleen virtauksella voidaan vähentää tuotantotilojen tarvetta väli- varastojen poistuessa, mahdollistaa tuotannon korkeampi joustavuus muut- tuviin asiakasvaatimuksiin sekä kannustaa jatkuvaan kehittämiseen uusien ongelmien ilmaantuessa [4, s. 109-111]. Tuotannon eri virtausten mallinnuksella saavutetaan visu- aalinen kuva tuotannon tilasta ja tästä visualisoinnista on helppo tunnistaa erilaisia on- gelmakohtia. Eri virtausten mallinnus vaatii aikaa ja kattavan analyysin suorittamiseksi on hyvä tutustua aihetta perusteellisesti esitteleviin teoksiin, esimerkiksi lähteeseen [32].

Tuotannon virtauttamiseksi Leanin mukaisessa toiminnassa on puututtu tuotannon oh- jausmenetelmiin ja pyritty käyttämään imuohjausta tuotannon jokaisessa vaiheessa. Imuohjauksessa tuotannon ohjauksessa seuraava työvaihe määrää edellisen vaiheen suo- rituksesta. Esimerkiksi tuotetta ei valmisteta, ennen kuin siitä on tehty tilaus ja eri työ- vaiheiden aloituksen ajankohta määräytyy sen mukaan, milloin seuraava työvaihe on valmis ottamaan työtä vastaan. [33][34.] Työvaiheiden ajoitukseen käytetään niin kut- suttuja kanban-signaaleja, jotka ovat käytännössä mitä tahansa visuaalisesti toteutetta-

vissa olevia ohjaussignaaleja [2, s. 67-89][3, s. 104-112]. Kanban-signaaleihin ja visuaaliseen ohjaukseen perehdytään tarkemmin luvussa 2.3.2.

Koska Lean on jatkuvaan kehittämiseen perustuva toimintamalli, on luonnollista, että sen viimeinen vaihe on toiminnan täydellisyyden ajaminen. Näin ollen tämä vaihe ohjaa suorittamaan iteratiivisesti Leanin eri vaiheita ja poistamaan jatkuvasti tuotannon hukkia. Kun tuotantoa on systemaattisesti kehitetty Leanin periaatteiden mukaisesti, ei täydellisyyden tavoittaminen tunnu enää yhtä utopistiselta ajatukselta kuin lähtötilanteessa. [2, s. 90-98.] Leanin kohdalla on tärkeää ymmärtää, että se on ennemminkin jatkuva toimintakulttuuri kuin sarja toisiaan seuraavia projekteja. Koska kulttuurin rakentaminen on huomattavasti hankalampaa kuin yksittäisten prosessien läpivienti, Lean-yrityksissä on kiinnitetty paljon huomiota henkilökunnan ja esimiesten valintaan ja kouluttamiseen. Työntekijöiden tyytyväisyys ja osallistaminen ovat tärkeitä yritystoiminnan kehittämiseksi, sillä useat kehitystoimenpiteet epäonnistuvat nimenomaan työntekijöiden muutosvastarinnan vuoksi. [4, s. 58-59.]

Vaikka Leanin menetelmät korostavat koko tuotteen arvovirran kartoittamista ja valmistuksen virtautusta, Leanin periaatteita on silti pääsääntöisesti hyödynnetty tuotannossa lähinnä tuotteen valmistukseen liittyviin osa-alueisiin, joiden kehityksen mittaaminen on ollut helppoa ja näkynyt suoraan esimerkiksi pienempinä varastoina. Lisäksi Leanin sovellus on ulotettu ainoastaan oman yrityksen toimintoihin. Leanin laajentaminen oman tuotannon yli voi kuitenkin tuoda merkittäviä parannuksia, kun kuitenkin yleensä noin 70-95% tuotteen koko tuotantoketjusta on yrityksen omien tuotantotilojen ulkopuolella. Teknologian kehitys on edesauttanut Leanin laajentamista yli perinteisten sovelluskohteiden. Leanin periaatteiden soveltaminen myös tuotannon pehmeämmissä prosesseissa, joissa käsitellään hyvin usein materiaalivirran sijasta informaatiovirtaa, on tärkeää entistä suurempien hyötyjen saavuttamiseksi. Tuotannon pehmeät prosessit, kuten asiakaspalvelu, jakelu, logistiikka ja taloushallinto, voivat toimintatavoillaan vaikuttaa siihen, miten eri asioita toteutetaan tuotantotiloissa. [4, s. 100-103.]

2.2.1 Leanin hukat

Leanissa on tunnistettu kahdeksan erilaista hukan lajia, jotka ovat ylituotanto, odotus, ylimääräinen tuotteen kuljetus, prosessointi, varastointi, liike sekä viallinen tuote ja käyttämättömät työntekijöiden kyvyt [3, s. 28-29][4, s. 76-77]. Hukista ylituotanto ja tuotteiden varastointi kasvattavat yrityksen sitoutuneen pääoman ja epäkuranttien tuotteiden määrää. Näistä kahdesta hukasta pääsemisellä voidaan säästää suoraa rahaa. Tuotteen ylimääräinen kuljetus, liike ja prosessointi puolestaan pidentävät kappaleen läpimenoaikaa, mikä vaikuttaa muun muassa yrityksen kykyyn vastata muuttuviin tilauskantoihin ja houkutella asiakkaita lyhyiden toimitusaikojen kanssa. Työntekijöiden huomioinnilla ja kuuntelulla yritys voi puolestaan saada uusia ideoita, oppimismahdollisuuksia ja kehitysehdotuksia, joiden avulla voidaan esimerkiksi lyhentää läpimenoaikaa erilaisen toimintatavan käyttöönotolla. [3, s. 28-19.]

Edellä mainittujen hukkien lisäksi Lean tunnistaa myös kaksi muuta hukan tyyppiä, jotka ovat resurssien ylikuormitus ja tuotannon epätasaisuus. Resurssien ylikuormituksella voi olla seurauksena turvallisuusriskit ja huonontunut työn laatu, kun ylikuormituksen seurauksena huoltoa voidaan joutua laiminlyömään ja täten kohdata rikkotilanteita. Tuotannon epätasaisuus tarkoittaa, että tuotteen valmistusmäärät vaihtelevat erittäin paljon eri aikoina. Tällaisessa tilanteessa normaalia keskituotantoa pystytään yleensä toteuttamaan tietyllä resurssimäärällä, mutta korkean kuormituksen tilanteiden varalle on oltava saatavilla lisäresursseja. Epätasainen kuormitus voi aiheuttaa yrityksessä vuoroin irtisanomis- ja rekrytointikausia. [3, s. 114.]

2.2.2 Leanin työkaluja

Leanin tarkoituksena on poistaa yrityksen toiminnasta erilaisia hukkia. Tuotannon kehittämisen yhteydessä on aina parempi, jos eri hukat on voitu tunnistaa jo suunnitteluvaiheessa ennen varsinaisen tuotannon aloittamista, jolloin niiden poistamiseksi ei tarvitse tehdä erillisiä kehitysprojekteja. Hukkien tunnistamiseksi voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, joilla voidaan etsiä erilaisia hukan tyyppisiä ja parhaiten sovellettava menetelmä riippuu tarkastelunalaisesta kehitettävästä kohteesta.

Ensimmäinen Leanin pääperiaatteen mukainen hukki tunnistuskeino on arvovirta-analyysi, jonka avulla voidaan tunnistaa tuotannon VA ja NVA-toiminnot ja täten ylimääräisiä tuotteen prosessointeja ja käsittelyjä. NVA-toiminnot voidaan jakaa kahteen ryhmään sen mukaan, onko niiden toteuttaminen tuotannon kannalta välttämätöntä vai voidaanko ne poistaa välittömästi. [2, s. 38.] Arvovirta-analyysi kerää sekä tuotteen tuotanto- että suunnitteluprosessin VA ja NVA vaiheet yhteen visuaaliseksi esitykseksi. Samoin kuin usein layout-suunnittelussa, arvovirta-analyysissä tehdään paitsi nykytilan tarkastelu, myös tulevaisuuden suunnitelmiin perustuva kaavio sekä toteutussuunnitelma siirtymän realisoimiseksi. [35, s. 116-117.] Arvovirta-analyysin ohessa voi myös suorittaa niin kutsutun plus-delta-analyysin, jossa kartoitetaan tuotteeseen arvoa tuottavat asiat plus-sarakkeeseen ja mahdollisesti lisäarvoa tuovat asiat delta-sarakkeeseen. Tällä menetelmällä voidaan täten tunnistaa myös mahdollisia kehityskohteita. [35, s. 114-115.] Hukkien tunnistuksen lisäksi arvovirta-analyysillä voidaan muodostaa selkeä kuva yrityksen materiaali- ja informaatiovirroista sekä tarjota eri osapuolille yhteinen mielikuva tuotteen arvovirrasta sekä kieli asiasta keskustelemiseen [4, s. 110].

Jo luvussa 2.2 mainittu yhden kappaleen virtautus on yksi tärkeimmistä välineistä erilaisten hukki tunnistukseen. Virtaus-analyysin [32] perusteella voidaan helposti tunnistaa tuotannosta varastoja aiheuttavia pullonkauloja. Lisäksi kattavasta, tuotantotilaan sidotusta virtaus-analyysistä voidaan tunnistaa tuotteiden tai muiden resurssien ylimääräistä kuljetusta tai prosessointia. [3, s. 87-103][4, s. 122-123.] Vaikka tämä menetelmä on sovellettavissa myös työpistetasolle, näillä tasoilla esiintyvät hienovaraiset hukat voidaan etsiä helpommin muilla menetelmillä.

Hienovaraisemmat, esimerkiksi tuotantosoluissa esiintyvät hukat, kuten ylimääräinen liike, odotus ja kuljetus, voidaan kartoittaa myös standardityön avulla. Standardityön avulla voidaan myös tunnistaa syitä viallisten tuotteiden muodostumiseen. Standardityöstä on ymmärrettävä, että se on työkalu hukkien etsimiseen eikä suoranainen työntekijöiden ohjeistus tuotantotyön suorittamiseen. Standardityön muodostus aloitetaan tunnistamalla tarvittavat työvaiheet ja tallentamalla kuhunkin vaiheeseen kuluva aika. Tämän lisäksi luonnostellaan työtilat, joissa esitetään työn etenemistä kuvaava virtaus. [17, s. 122-124.] Näiden tietojen pohjalta määritetään tehokkain tapa ja järjestys suorittaa tarkastelunalaiset työvaiheet. Tehokkain tapa dokumentoidaan ja työntekijät koulutetaan noudattamaan tätä toimintatapaa. Näin tuotannon eri toimenpiteistä saadaan tarkasti toistettavia ja vakioituja, minkä vuoksi saavutetaan tuotteiden tasaisempi laatu ja täten myös pienempi viallisten tuotteiden määrä. [4, s. 114-115.]

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi Lean tarjoaa myös muita työkaluja tuotannon tehostamiseen. Yksi tunnetuimmista työkaluista on visuaalisesti työtilan siisteyteen ohjaava 5S-menetelmä. Menetelmässä erotellaan (*sort*) ensin työtoimenpiteisiin tarvittavat resurssit tarpeettomista, minkä jälkeen työhön tarvittavat resurssit ja niiden säilytyspaikat merkitään selvästi ja järjestetään työn sujuvaa suoritusta tukeviin paikkoihin (*set in order*). Kun työtila on näiden toimien avulla saatu järjestettyä, seuraavassa vaiheessa siistitään ja tarkistetaan työtilat (*shine*) ja koulutetaan työntekijät noudattamaan tätä järjestystä ja ylläpitämään alueen siisteyttä (*standardize*). Viimeinen menetelmän vaihe on ylläpitää (*sustain*) tätä toimintamallia muun muassa työnjohdon opastuksen ja esimerkin avulla. [3, s. 150-152][4, s. 112-113][13, s. 129-133][35, s. 123-124.] Eräät yritykset ovat nostaneet 5S-menetelmän uudelle tasolle lisäämällä menetelmään myös turvallisuuden (*safety*) [35, s. 123]. 5S-menetelmän avulla voidaan vähentää työn sujuvuuden ongelmia, kun työntekijät tietävät täsmälleen, mistä minkin työkalun löytävät. Lisäksi työalueen parantunut siisteystaso muun muassa auttaa vähentämään erilaisia työympäristön turvallisuusriskejä, lyhentää uuden työntekijän koulutukseen vaadittavaa aikaa ja ohjaa työntekijöitä psykologisesti hukkien poistoon ja siisteystason ylläpitämiseen. [4, s. 113.] 5S-menetelmää voidaan hyödyntää myös Layout-muutosten yhteydessä, kun työhön tarvittavat resurssit on tunnistettu ja niille voidaan suunnitella tehokasta työskentelyä ja tuotannon virtausta tukevat sijainnit.

2.2.3 Jatkuva kehittäminen

Jos yrityksessä samat työntekijät, jotka ajattelevat tietyllä vakioituneella tavalla ovat tekemissä muuttumattoman prosessin kanssa, ei yrityksen pidä odottaa toimintaansa uusia tuloksia. Toinen toiminnan kehitystä viivästyttävä tekijä on väärin ongelmiin puuttuminen. Vasta, kun kehitystoimet osoitetaan ongelmien juurisyihin eikä syistä seuranneisiin oireisiin, saadaan toimintaa selkeästi kehitettyä eteenpäin. [4, s. 15.] Juurisyiden selvittelyyn voidaan soveltaa esimerkiksi yksinkertaista menetelmää, jossa kysytään viisi kertaa, miksi ongelma esiintyi [3, s. 252-254][35, s. 112-113].

Leanin periaatteiden mukaisen jatkuva kehitys voidaan toteuttaa joko pieninä ja nopeasti toteutettavina kehitysaskelina (kaizen) tai radikaaleina muutoksina (kaikaku) [2, s. 90-91]. Kaizen-tapahtumat voidaan jakaa useisiin eri tyyppeihin, mutta niille on yhteistä niiden melko nopea suoritusnopeus ja muutaman toiminta-alueeseen hyvin perehtyneen työntekijän työryhmät. Useamman kaizenien tuoman kehitysaskelen ottamisen jälkeen on tyypillistä, että toiminnan kehittämiseksi on tehtävä kaikaku-muutos, esimerkiksi isomman layout-muutoksen, laiteinvestoinnin tai toimintatavan muutoksen muodossa. [3, s. 275-285][4, s. 77-97][35, s. 119-123.]

2.3 Tuotannon ohjaus

Leanin yhteydessä mainittiin, että yrityksen tulisi pyrkiä toiminnassaan kohti ideaalista yhden kappaleen virtausta, ja että resurssit ja layout-suunnittelu tukevat tämän tavoitteen täyttymistä. Pelkkä resurssien tarjoaminen ei kuitenkaan riitä, vaan vaaditaan myös oikeiden toimintojen oikea-aikaista tekemistä, jotta tämä virtaus mahdollistuu. Layout-suunnittelua ei täten voida täysin eriyttää tuotannon ohjauksesta, jonka avulla toteutetaan tämä asioiden oikea-aikainen tekeminen.

Tuotannon ohjauksen päätavoitteena on mahdollistaa asiakkaita houkuttelevat toimituspäivät ja valmistaa asiakkaan tilaukset ajoissa. Nämä tavoitteet tulisi lisäksi täyttää siten, että tuotantoon sitoutuneen pääoman määrä niin keskeneräiseen tuotantoon kuin varastoihin on pieni ja tuotannon eri resurssien kuormitusaste on korkea. [36, s. 6-17.] Tavoitteiden täyttämiseksi tuotannon ohjaus keskittyy ratkaisemaan tuotantomääriin, resurssien kuormitukseen ja eri töiden keskinäiseen ajoitukseen liittyviä ongelmia [37, s. 223]. Tuotannon ohjauksen haasteet kasvavat tuotteiden variaation ja valmistusmenetelmien mukaan siten, että yksittäistuotannon ohjaus vaatii enemmän suunnittelua ja sisältää eniten epävarmuustekijöitä, kun taas prosessityyppinen, jatkuvan virtauksen tuotanto on helpoin ohjata [36, s. 18-28].

Varastojen avulla yrityksen tarkoituksena on taata, että tuotannossa tarvittavat kappaleet ovat saatavissa, eikä tuotantoa jouduta kappaleiden puutteen vuoksi pysäyttämään. Varastohallinnalla pyritään pienentämään sitoutuneen pääoman määrää, kun varastoissa ei turhaan säilytetä pitkiä aikoja kappaleita, joita ei joko tuotemuutosten vuoksi enää käytetä tai niitä muusta syystä tarvitaan erittäin harvoin. Myös varastossa olevien kappaleiden määrä pitää suhteuttaa tarpeeseen nähden. Yritystoiminnan kehittämisessä varastojen tarve pyritään minimoimaan sitoutuneen pääoman lisäksi myös varastotilojen tarpeen pienentämiseksi, epäkuranttien kappaleiden vähentämiseksi ja tuotannon tehostumuuksien paljastamiseksi. [36, s. 81-94][37, s. 220-222][38.]

Työvaiheiden suoritusnopeuserojen vuoksi peräkkäisten työvaiheiden väliin voi muodostua välivarasto tai jonkin resurssin käyttöaste on matala, kun se joutuu odottamaan hitaammalta työvaiheelta materiaalia työstettäväksi. Tästä syystä useat lähteet [1, s.44-47][3, s. 113-127][4, s. 119-120][5, s. 437-474][13, s. 109-111][36, s. 37-43][37, s. 302-

325] korostavat tuotannon tasapainotusta yrityksen tuotantotoiminnan sujuvoittamiseksi. Tuotannon tasapainottaminen voidaan toteuttaa muun muassa töiden keskinäisellä järjestämisellä ja eri työvaiheiden aloituksen ajoittamisella ja ohjausta helpottamaan voidaan käyttää esimerkiksi visuaalisia ohjaussignaaleja.

2.3.1 Tuotannon tasapainottaminen

Tuotannon tasapainottaminen on avaintekijänä tuotannon sujuvuudelle ja perusedellytys yhden kappaleen virtaukselle. Tuotannon tasapainottamisen yhteydessä puhutaan usein tuotannon kapasiteetista, joka voidaan mieltää joko yrityksen kapasiteetiksi valmistaa tuotteita tai resurssin kapasiteetiksi toteuttaa vaadittuja työvaiheita. Joka tapauksessa kapasiteetti on avain tuotannon tasapainottamiseen, sillä kapasiteettierot eri resurssien välillä aiheuttavat tuotannossa epätasapainoa. [36, s. 37-43][37, s. 302.] Kapasiteetti vaikuttaa myös siihen, miten eri resursseja voidaan kuormittaa ja tämän vuoksi kunkin resurssin kapasiteetti pitäisi tuntea. Tuotannon tasapainottamisen yhteydessä voidaan suorittaa kapasiteettitarpeen määrittäminen ja toimia tämän tarvittavan kapasiteetin pohjalta. [39.] Tuotannon tasapainottamisen tyypillisimmät menetelmät ovat töiden ajoittaminen ja sekvensointi.

Töiden ajoittamisen tavallisimpia ongelmia ovat vaihteleviin tuotantomääriin reagoiminen sekä satunnaisesti saapuvien tilausten järjestäminen. Käsillä oleva ongelma vaikuttaa ohjauksessa käytettäviin menetelmiin, mutta ajoituksen tausta-ajatuksena on tasata tuotannon kuormitusta eri ajanjaksoilla siten, että tuotannon käytettävissä olevaa kapasiteettia hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti. Ajoituksen avulla voidaan esimerkiksi jakaa kausittain esiintyvä epätasainen kuormitus tasaisemmin eri kuormitusvaatimusten ajanjaksoille. Töiden ajoituksella voidaan myös vaikuttaa tuotannon kapasiteettiin, kun huolehditaan, että eri töiden vaatimat resurssit ovat vapaina eikä työjonoja muodostu esimerkiksi eri tuotteiden tuotantoprosessien yhteisten resurssien ääreen. [36, s. 104-110][37, s. 335-362][40.]

Töiden sekvensointi kulkee töiden ajoituksen kanssa rinnakkain, sillä sekvensointi voidaan ajatella olevan yksi ajoituksen keinoista. Töiden sekvensoinnissa otetaan huomioon esimerkiksi, miten eri resurssien asetus- ja valmistusajat sekä eri resurssien kuormitukset vaihtelevat eri töiden välillä ja täten vaikuttavat tuotannon sujuvuuteen. Tuotannon sekvensointi voidaan suorittaa joko erätuotantomaiseksi, jolloin minimoidaan asetusajojen vaikutuksia ja asetetaan samanlaiset tuotteen valmistettaviksi toistensa kanssa peräkkäin. Näin ollen asiakastilauksilla ohjautuvassa tuotannossa ei välttämättä toteuteta tuotantoa tuotteiden tilausjärjestyksessä vaan asetetaan samanlaiset tuotteet peräkkäin, jotta tuotannon resurssien asetuksia ei tarvitse vaihtaa niin usein. Toisaalta sekvensoinnissa voidaan myös vuorotella suuri- ja pienitöiden tuotteiden valmistusta siten, että tuotannon eri resurssien kuormitus pysyy tasapainossa. [3, s. 116-127][37, s. 357-362.]

2.3.2 Visuaalinen ohjaus

Tuotannon ohjauksen helpottamiseksi suositellaan käytettäväksi yksiselitteisiä visuaalisia ohjaussignaaleja. Tyypillisesti visuaaliseen ohjaukseen käytetään kanban-signalointia. Perinteisesti kanbanit ovat olleet tuotantoa ohjaavia kortteja, joihin on kirjattu tuotettavien kappaleiden määrä ja tyyppi. [35, s. 127.] Menetelmien ja teknologian kehityksen myötä kanbaneiksi mielletään nykyään mitkä tahansa visuaaliset ohjaussignaalit. Esimerkiksi tuotantolinjalla yksittäistä työvaihetta edeltävä ja seuraava vaihe on voitu erotella pöydillä. Suoritettuaan tietyn työvaiheen, työntekijä laskee tuotteen seuraavan vaiheen viereiselle pöydälle ja vasta, kun seuraava vaihe ottaa tuotteen pöydältä, on lupa ottaa edeltävän vaiheen puoleiselta pöydältä uusi työ tekeille. Tällöin tyhjä pöytä toimii työn aloittamisen kanban-signaalina. [13, s. 122-125.]

Erityisesti kokoonpanotuotannossa kanban-signalointia hyödynnetään niin kutsutun kaksilaatikko-ohjauksen muodossa, jossa nimensä mukaan on yleensä kaksi laatikkoa. Fyysisen jaon lisäksi kaksilaatikko-ohjaus voidaan toteuttaa jakamalla kappaleet myös paperilla, mutta tämä toteutustapa vaatii henkilökunnalta enemmän työtä kappaleiden määrän seuraamiseen. [37, s. 450-451.] Kaksilaatikko-ohjauksessa kumpikin laatikko on aluksi täynnä ja vain toisesta niistä otetaan tavaraa toisen pysyessä täytenä. Kun ensimmäinen laatikko tulee tyhjäksi, aletaan tavaroita ottaa toisesta, vielä täydestä laatikosta. Tyhjä laatikko toimii kanban-signaalina tavarantoimituksen tilaamiseksi. Ideaalitulanteessa tyhjentynyt laatikko täytetään siinä ajassa, joka kuluu laatikon tyhjentämiseen, jolloin vältetään suoranaiselta varmuusvarastolta ja toisaalta myös tuotannon keskeytyksiltä. [36, s. 84-85][41][42.] Kaksilaatikko-ohjaus sopii paljon käytettävälle ja kappalekustannuksiltaan pienille osille [43], kuten erilaisille kiinnittimille. Kaksilaatikko-ohjauksen kanssa on myös mahdollista ulkoistaa tavaroiden tilaus ja toimitus suoraan tavarantoimittajalle, jolloin ohjausprosessista saadaan hieman suoraviivaisempi [41].

Kanban-signaaleja voi olla käytössä useita erilaisia, riippuen siitä, mitä kanbanilla halutaan toteuttaa. Esimerkiksi kappaleiden tuottamiseen ja siirtämiseen voi olla omat signaalinsa. Lisäksi on tunnistettu [4, s. 120-122] muun muassa varastojen hallinnointiin, kappaleiden tilauksen ajoittamiseen ja viallisten tuotteiden esiintymisen yhteydessä käytettäviä kanban-signalointityyppejä. Kanban-signaloinnin käyttö edistää imuohjauksen toteutumista, mutta vaatii kappaleiden varastointia vähintään ensimmäisissä kanban-ohjauksen työvaiheissa, jotta oikea-aikaiset kappaleiden valmistukset ja toimitukset saadaan toteutetuksi. Esimerkiksi tuotantolinjan esimerkissä jokaisella työvaiheella on pieni varasto tarvitsemiaan kappaleita, jotta työvaiheet saadaan toteutetuksi seuraavan työvaiheen vaatimassa ajassa. Ideaalitulanteen ohjatessa yhden kappaleen virtaukseen, yrityksen tuotantotoiminnan kehityksessä pyritään jatkuvaan kanban-signaalien tarpeen vähentämiseen. [3, s. 108-110.]

2.4 Turvallisuussuunnittelu

Työympäristöissä on usein erilaisia riskejä. Riskeihin puuttuminen on usein paitsi lakisääteistä, myös yrityksen itsensä toiminnan kannalta suotavaa. Turvallinen työympäristö kasvattaa työntekijöiden työmoraalia ja -tyytyväisyyttä sekä vähentää yritykselle aiheutuvia sairaanhoitokustannuksia, kun työntekijöihin aiheutuvat fyysiset riskit vähenevät. [44.] Työympäristön turvallisuussuunnittelussa on useita huomioitavia kohteita niin työympäristön resurssien kuin toimintojenkin puolesta. Yrityksen eri toiminnot tuotantotoiminnasta huoltoon ja kunnossapitoon vaativat työympäristön turvallisuudelta eri asioita ja yleensä eri riskien eliminointiin on kannattavinta keskittyä jo tuotantoympäristön suunnitteluvaiheessa. Yleisesti turvallisuussuunnittelun ohjenuorana on jättää eri toiminnoille riittävästi tilaa ja estää henkilöiden pääsy liikkuvien osien tai muiden turvallisuusriskejä aiheuttavien kohteiden luo. Tämä tarkoittaa myös, että työntekijöiden työpisteiden sijoittelussa on huomioitava, etteivät työpisteet ole välittömästi esimerkiksi jatkuvasti liikkuvan kuljettimen kyljessä tai suoraan jonkin vaaratekijän ylä- tai alapuolella. [45.] Henkilöiden ja riskien toisistaan eristämisen lisäksi esimerkiksi työympäristön siisteyden ylläpitäminen siten, ettei lattioilla ole kompastumisriskiä aiheuttavia tai poistumisreittien esteettömyyttä häiritseviä tekijöitä, on tehokas yksittäinen keino työympäristön riskien vähentämiseksi. Lisäksi työympäristön suunnittelussa huomioidaan, että ensiapu- ja ensisammuttimet ovat aina lähellä riippumatta työntekijän sijainnista, ja että työympäristössä pitäisi pääsääntöisesti voida toimia ilman erityisiä suojavälineitä. [1, s. 53-54.]

Työympäristön suunnitteluohjeina toimivat ensisijaisesti kaikki kansalliset ja mahdollisesti kansainväliset turvallisuussäädökset ja -vaatimukset [1, s. 53-54]. Työtilojen turvallisuussuunnittelun helpottamiseksi, esimerkiksi Euroopan työterveys- ja turvallisuusvirasto on julkaissut internetsivuillaan vapaasti käytettävissä olevan työkalun riskianalyysien ja kehittävien toimenpiteiden suorittamisen ja tilanteen seuraamisen tukemiseksi [46]. Euroopan työterveys- ja turvallisuusvirasto on myös teettänyt tutkimusta [47] uusien teknologioiden ja sitä myötä uusiutuneiden työtoimeenkuvien kautta yleistyvistä riskeistä. Tämän lisäksi turvallisuussuunnitteluun on eri tuotannon aloilla muodostettu omia standardejaan, jotta kullekin toimialalle ominaiset turvallisuusriskit tulevat asianmukaisesti huomioiduiksi [45][48].

Työympäristön riskit voivat aiheutua monesta eri syystä alkaen työympäristön ominaisuuksista kuten melusta, lämpötilasta ja tärinästä jatkuen aina käsiteltäviin materiaaleihin ja niiden ominaisuuksiin sekä työergonomiaan. [45, s. 106-124.] Kun jokaiseen riskin aiheuttajaan ja työntekijöiden työympäristöön kiinnitetään huomiota, työntekijöiden tarve kehittää omia työskentelytapojaan nopeammiksi tai helpommiksi turvallisuuden kustannuksella pienenee. Tällöin työympäristö säilyy turvallisena ja inhimillisen tekijän vaikutukset pienenevät. [44.] Eri syistä aiheutuvia riskejä voivat olla muun muassa iskujen saanti, puristuksiin joutuminen, kompastuminen, liukastuminen tai putoaminen, palovammat, hengitysvaikeudet tai muu epämukavuus. [45, s. 106-124.] Työympäristön

riskien tunnistuksen yhteydessä on hyvä myös arvioida riskien suuruutta. Tämän toteuttamiseksi suoritetaan riskianalyysi, jonka lopputuloksena jokaiselle tunnistetulle riskille saadaan arvio sen merkittävyydestä ja tarvittavien turvatoimenpiteiden laajuudesta. [45, s. 42-51][48, s. 19-23.]

Riskianalyysin suorittamiseksi jokaisesta tunnistetusta riskistä arvioidaan pahimman mahdollisen tilanteen tapauksessa riskin toteutumisesta aiheutuvan vahingon vakavuus niin riskin vaikutusalueella olevan henkilömäärän kuin henkilöille aiheutuvan haitan laajuuden osalta. Tällöin siis arvioidaan, moneenko henkilöön riski toteutuessaan vaikuttaa ja kuinka vakava haitta riskin toteutumisesta näille henkilöille aiheutuu. Aiheutuvia haittoja voivat olla niin pienet ruhjeet kuin raajojen murtumat tai peräti kuolema. Näiden lisäksi arvioidaan riskin esiintymistodennäköisyys sekä varsinaisen tapahtuman toteutumistodennäköisyyden, että työntekijöiden riskille altistumismäärän mukaan. Riskin tapahtumatodennäköisyys voi vaihdella hyvin todennäköisesti tapahtuvasta lähes mahdottomaan. Henkilöiden riskille altistumismäärää arvioidaan ajallisesti sen mukaan, miten usein tai pitkäjaksoisesti henkilöt ovat riskialueella. Näiden tietojen pohjalta voidaan esimerkiksi laskennallisilla menetelmillä selvittää, kuinka merkittävästä riskistä on kyse. Riskin merkittävyys kasvaa sen mukaan, mitä useampaa ihmistä riski koskee, mitä vakavampi on henkilöille aiheutunut haitta, mitä todennäköisempi riskin toteutuminen on ja mitä useammin riskille altistutaan. [45, s. 42-51.] Tämän lisäksi samoilla tiedoilla voidaan määrittää riskin välttämiseksi tarvittavan turvatoimenpiteen vaikutuksen suuruus. Esimerkiksi, jos pienen haitan aiheuttavalta, mutta hyvin todennäköisesti tapahtuvalta riskiltä on ilman erillisiä turvatoimenpiteitä vaikea suojautua, vaaditaan tarvittavalta turvatoimenpiteeltä melko suurta vaikutusta turvallisuuden parantamiseen. [48, s. 149-152.]

Yrityksen eri toimintojen aikana vallitsevien riskien tunnistamisen ja analysoinnin jälkeen voidaan keskittyä turvallisuusriskien pienentämiseen ja eliminointiin. Työtilojen turvallisuutta lisääviä toimenpiteitä voivat olla esimerkiksi henkilökohtaisten suojainten käyttöönotto, työntekijöiden kulun estäminen johonkin tiettyyn osaan tuotantotilassa tai turvallisuutta edistävän automatiikan lisääminen. [48, s. 149-152.] Pääsääntöisesti turvallisuussuunnittelulla pyritään siihen, että turvallisuuteen vaikutettaisiin ympäristöön ja koneisiin kohdistetuilla muutoksilla siten, että riskin tapahtumatodennäköisyys tai aiheuttama haitta saadaan minimoitua. Tällainen toimenpide voi olla esimerkiksi erillisen roiskesuojan asettaminen porakoneeseen tai liikkuvien kiekkojen muotoilu umpinaiseksi siten, ettei niiden sisään tai väliin ole mahdollista tarttua mitään. Erillisten turvavälineiden, kuten silmähuuhteiden lisäämistä työympäristöön käytetään vasta, jos turvallisuutta ei voida riittävästi parantaa muilla keinoilla. Myös erillisten suojainten käytön tarvetta pitäisi välttää mahdollisimman pitkään. [45, s. 52-84.]

3. KOHDEYRITYKSEN NYKYTILA

Kohdeyritys huoltaa suuria teollisuuslaitteita ja on jakanut toimintansa useaan erilliseen tuotantotilaan, joissa kussakin tehdään pääasiassa tietyn laitetyyppin huoltotöitä. Näiden laitekohtaisten tuotantotilojen lisäksi yrityksellä on oma tuotantotilansa niille huollon prosesseille, jotka ovat eri laitteille yhteisiä ja vaativat joko kalliita erityistyökaluja tai laitteita. Jakoa ei kuitenkaan ole tehty aivan puhtaasti esitetyllä tavalla, vaan joihinkin laitekohtaisiin tuotantotiloihin on ripoteltu myös tilavaatimuksiltaan pienempiä yhteisiä prosesseja resursseineen. Tämän resurssien jaon taustalla on ollut tilojen ahtaus sekä resurssien asettaminen sillä hetkellä helposti tyhjennettävissä olleisiin tiloihin. Oman osansa jaon muodostumiseen on tuonut pikkuhiljaa tapahtunut tuotantotilojen lukumäärän kasvu kohdeyrityksen eri tulosityksiköiden voimasuhteiden muuttuessa.

Erilliset tuotantotilat, joissa ei kuitenkaan voida suorittaa aivan kaikkia laitteen huollon toimenpiteitä, aiheuttavat niin materiaalien, henkilöiden kuin informaationkin virtausta eri tuotantotilojen välillä. Erityisesti kappaleiden puhdistus ja tarkastus ovat tällaisia fyysisten resurssien virtausta aiheuttavia työvaiheita, kun taas informaatiiovirtaa edustaa esimerkiksi työnohjaus. Tässä luvussa esitellään ensin kohdeyrityksen toimintamallia ja sen ohjausta, minkä jälkeen perehdytään layout-suunnittelun kohteena olevan kemiallisen pesuprosessin ja sitä välittömästi edeltävän ja seuraavan työvaiheen materiaalivirtoihin tuotantotilojen tasolla. Luvun tarkoituksena on luoda pohjatieto yrityksen toimintamallista ja helpottaa ymmärtämään myöhemmin työssä esitettäviä haasteita layout-suunnitteluun, jotka ovat osittain seurausta tästä toimintamallista. Lisäksi materiaalivirtojen esittelyllä helpotetaan prosessin ohjauksen haasteiden ymmärtämistä.

3.1 Tuotannon yleinen toimintamalli ja sen ohjaus

Layoutsuunnittelukohteen kanssa tekemisissä olevalle henkilöstölle esitettiin liite A:n mukaiset kysymykset, joiden pohjalta kohdeyrityksen toiminnasta on muodostettu pääpiirteinen kuva. Tuotannonohjaus alkaa, kun tuotantopäällikkö sopii asiakkaiden kanssa laitteiden toimitusajoista sekä huollettavaksi, että takaisin asiakkaalle. Kyseiselle laitteelle osoitettu työntekijöiden ryhmä suorittaa työtehtäviään hyvinkin itseohjautuvasti tämän karkeasuunnittelun aikataulun perusteella. Itseohjautuvuuden tunteen taustalla on paitsi laitteen huollon joustava työjärjestys, myös aikojen saatossa kertynyt kokemus siitä, missä välissä mitäkin tehtäviä tulee tehdä. Nimenomaan tämän kokemuksen vuoksi työjärjestys koetaan joustavaksi ja työ itseohjautuvaksi, vaikka tuotantotiloissa on laitekohtaiset huolto-oppaatkin, joissa työvaiheet esitetään yksityiskohtaisesti ja suositellussa järjestyksessä. Tämä järjestys on aikojen saatossa kokenut hienoisia muutoksia,

jotka ovat pääasiassa perustuneet joko varaosien kartoitustarpeesta tai työn ulkoistuksesta johtuvista töiden kiireellisyyssasteiden muutoksista.

Huoltotoimenpiteet tehdään muutaman työntekijän ryhmässä, jossa yksi on nimetty ryhmän vetäjäksi. Ryhmän jäsenet jakavat tehtävät työt lähes täysin keskenään omien kykyjensä ja intressiensä mukaan. Työnjaossa ollaan myös hyvin tasapuolisia, ettei sama työntekijä tee aina samoja töitä jokaisesta huollettavasta kohteesta, vaan työtehtävät vaihtuvat laitteittain. Tämä tuo työhön vaihtelua ja kaikille mahdollisuuden oppia uusia tehtäviä oman kiinnostuksen ja taitojen perusteella. Jokaista huollettavaa laitetta kohden tehdään oma huoltodokumentaationsa, johon kukin työntekijä käy omalla nimikirjoituksellaan kuittaamassa tekemänsä työt. Ryhmän vetäjän tehtävänä on huolehtia, että kaikki työvaiheet tulevat tehdyiksi ja tarkastaa, että työ on tehty sille asetetulla tarkkuudella. Tähän työn laadun tarkastukseen osallistuvat tarvittaessa myös asiakkaiden suuntaan yhteydessä olevat huoltoinsinöörit.

Tuotannon itseohjautuvuudella on positiivisia vaikutuksia työilmapiiriin ja työntekijöiden viihtyvyyteen, mutta se aiheuttaa haasteita tuotannon muun sujuvuuden suhteen. Satunnainen työjärjestys ja -nopeus, työntekijöiden osaamistaso sekä työntekijäkohtaiset sovellukset tehtävistä työvaiheista aiheuttavat hienoisia laatuvaihteluita ja resurssien epätasaista ja hallitsematonta kuormittamista. Laatuominaisuuksien ylläpitämiseksi jokaisen työntekijän tekemä työn kuittaus edesauttaa jäljitettävyyttä. Minkä tahansa virheen, vikatilanteen tai laatupoikkeaman tapahtuessa laitekohtaisesta dokumentaatiosta voidaan tarkistaa paitsi työvaiheiden suoritus, myös jäljittää työvaiheen tehnyt henkilö ja kartoittaa tämän perusteella erilaiset syyt tapahtuman synnylle. Tämä näennäisesti pieni nimikirjoitus osoittaa työntekijöille konkreettisesti heidän työnsä merkityksen ja kannustaa työn huolelliseen ja tarkkaan tekemiseen. Lisäksi yrityksessä korostetaan jokaisessa sopivassa tilaisuudessa laadun merkitys yrityksen toiminnalle, jolloin tämän merkitys ei jää kenellekään epäselväksi.

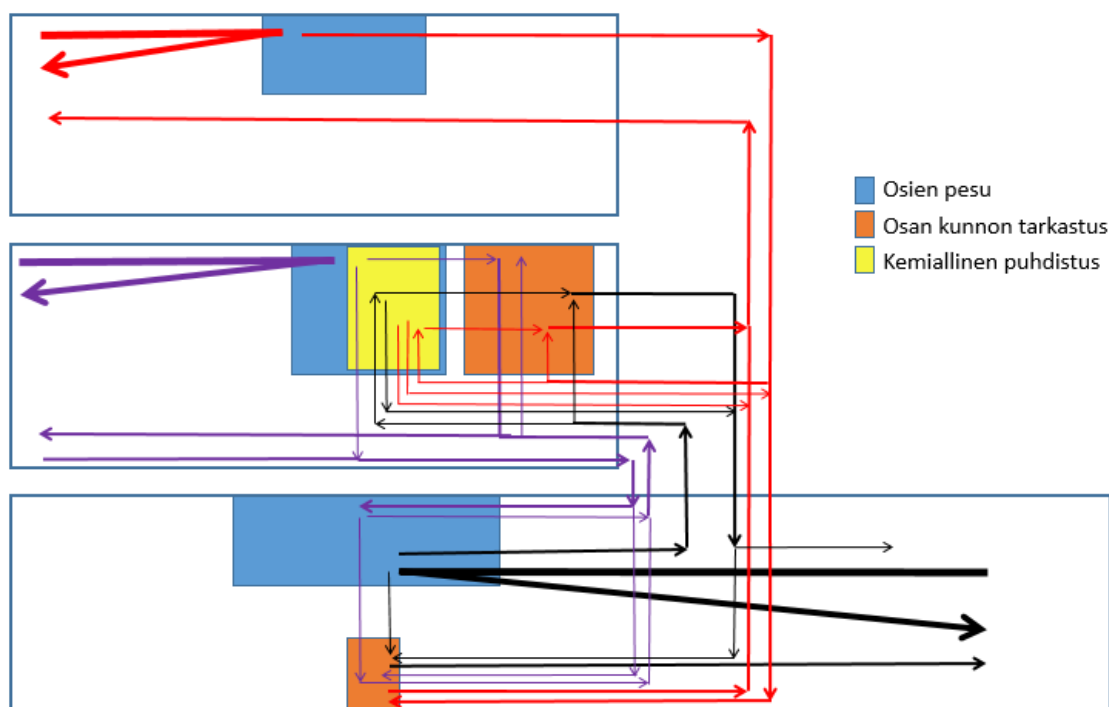
Tuotannon hienokuormitus, eli töiden ajoittaminen, jako sekä tehdyn työn laadunvalvonta ovat laitteen parissa työskentelevän ryhmän käsissä. Tällöin työnjohtajan rooli on lähinnä valvoa, että työt etenevät suunnilleen toivotussa aikataulussa ja huolehtia kommunikoinnista ja töiden ajoituksesta alihankkijoiden suuntaan. Karkeasuunnittelun lisäksi työnjohdon selkeä tuotannonohjauksellinen toimi on osoittaa työntekijöitä myös asiakkaiden luona tehtäviin huoltotoimenpiteisiin. Tällöin yrityksen sisäiset huoltotyöt etenevät luonnollisestikin hitaammin niiden laitteiden osalta, joista on työntekijöitä hetkellisesti siirretty muihin tehtäviin. Työnjohto ohjaakin laitteiden huoltotoimenpiteiden etenemisen sijasta henkilöresursseja eri laitteiden pariin ja täten vaikuttaa laitteen huoltotyön etenemisnopeuteen ja työn valmistumiseen aikataulussa.

3.2 Materiaalivirrat kemiallisen puhdistusprosessin ympärillä

Resurssien kuormituksen epätasaisuuteen on huomattavan vaikeaa puuttua nykyisillä toiminnan lähtökohdilla. Määrätyn ajoituksen ja ohjeistuksen puutteen vuoksi eräät tuotannon resurssit ja erityisesti tuotantotilojen jakamat resurssit saattavat viivästyttää työvaiheiden etenemistä suhteellisen pitkiä aikoja, kun resursseille osoitettu työjono voi yhtäkkiä kasvaa lähes hallitsemattomasti. Osa työntekijöistä käy tarkastamassa ja kysymässä resurssien vapausasteen ennen työvaiheiden aloitusta, mutta tästäkin huolimatta yhteisille resursseille muodostuu helposti työjonoa. Jokaisessa tuotantotilassa kappaleiden pesu kerää säännöllisesti työjonoa prosessialueelle, samoin kuin eri laitteille yhteisesti järjestetty osien kunnon tarkastus. Tuotannon keskeytymisen lisäksi, tuotantotilojen koon ja resurssien sijoittelun vuoksi, muodostuvat työjonot vaikeuttavat nopeasti normaalia tuotantotiloissa liikkumista. Tämä on seurausta varsinaisten varasto- tai jonotuspaikkojen puuttumisesta työjonoa aiheuttavilta alueilta.

Pesupaikkojen ja tarkastuspisteiden kuormitus vaihtelee huomattavasti huoltotyön vaiheen mukaan. Luonnollisestikin läpimenoajan alussa pesupaikalla on vilinää, kun laitteista vasta irrotetut osat yritetään puhdistaa kaikesta liasta, jotta niiden kanssa työskentely olisi missään määrin mielekästä, ja niissä piilevät vauriot tai viat voidaan huomata. Samoin tarkastuspisteiden pääasiallinen kuormitus keskittyy tiettyyn huoltotyön vaiheeseen enemmän kuin muualle. Tämän seurauksena kumpikin resurssi on hetken aikaa ylikuormittettuna ja toisaalta myös pitkiä aikoja lähes käyttämättöminä. Tällainen epätasainen kuormitus aiheuttaa haasteita töiden ajoituksen ja sen ohjaamisen kannalta. Koska työn eteneminen ei kuitenkaan ole liian aikakriittistä, tällaiset jonotustilanteet eivät ole muodostuneet kohdeyrityksen toiminnassa vielä ongelmaksi, eikä niihin tämän vuoksi ole puututtu.

Layout-suunnittelun kohteena oleva kemiallinen pesuprosessi kuuluu osaksi kappaleiden pesua ja puhdistusta ja sijoittuu useimmiten laitekohtaisissa tuotantotiloissa tehtävän pesun ja eri laitteille yhteisen osien kunnon tarkastuksen väliin. Kummankin ympäröivän prosessin ollessa tuotantoa omalla tahollaan rajoittava, on prosessin ohjauksen ja layout-suunnittelussa merkittävien materiaalivirtojen ymmärtämiseksi tutkittu kemiallista puhdistusprosessia ympäröivät materiaalivirrat. Kuva 3 esittää tuotannon materiaalivirtoja sinisellä merkityille pesupaikoille ja oranssilla merkityille tarkastuspaikoille niin tuotantotilojen sisällä kuin välilläkin. Kuvaan piirretyn materiaalivirtaa esittävän nuolen paksuus korreloi materiaalivirran suuruuteen. Kuvassa reunimmaisat tuotantotilat ovat pääsääntöisesti laitekohtaisiin huoltoihin tarkoitettuja, kun taas keskimäinen tila on tarkoitettu yhteisille prosesseille ja resursseille. Tämän keskimäisen tilan sinisellä merkitty pesupaikkaan sisältyy layout-suunnittelun kohteena oleva kemiallisen puhdistuksen alue, joka on kuvaan merkitty keltaisella.



Kuva 3. *Materiaalivirrat tuotantotilojen, pesu- ja tarkastuspaikkojen sekä kemiallisen puhdistuksen välillä.*

Kuten kuvasta 3 nähdään, tuotannon materiaalivirrat pelkästään kolmen perättäisen prosessin osalta ovat melko kaoottisia. Kuvasta voidaan huomata, että kaikki kemialliseen puhdistukseen tulevat kappaleet ovat jo käyneet pesuprosessin läpi, ja että läheskään kaikkia pestyjä kappaleita ei puhdisteta myös kemiallisesti. Pesun jälkeen materiaalivirrat jakautuvat siten, että valtaosa kappaleista palaa tuotannon erittelemättömiin prosesseihin ja pienempi osa jatkaa kemialliseen puhdistukseen tai suoraan kunnon tarkistukseen, josta palaavat takaisin erittelemättömiin prosesseihin. Kemiallisen puhdistuksen jälkeen kappaleiden materiaalivirrat jakaantuvat jälleen, kun kappaleet jatkavat matkaansa erittelemättömiin prosesseihin joko suoraan tai kunnon tarkastuksen kautta.

Lisäksi kuvasta 3 on merkittävää huomata keskimmäisestä tuotantotilasta alimmaisesta tilan pesupaikalle vievä materiaalivirta. Tämä virta on seurausta keskimmäisen tuotantotilan pesupaikan resursseista, jotka eivät tue isompien kappaleiden minkäänlaista puhdistusta. Vastaava materiaalivirta on myös ylempänä esitettyyn tuotantotilaan, mutta se on selkeyden ylläpitämiseksi jätetty esittämättä. Samoin on jätetty esittämättä kemiallisen puhdistuspaikalta viereisten tuotantotilojen pesupaikoille suuntautuvat materiaalivirrat. Nämä virrat ovat erittäin pieniä ja satunnaisia ja johtuvat siitä, että kemiallisen puhdistuspaikan yhteyteen asennetut pesuresurssit ovat olleet varattuna sillä hetkellä, kun kemikaalialtaasta on poistettu kappaleita, jolloin kappaleiden loppupesä on suoritettu toisella pesupaikalla.

4. SUUNNITTELUKOHDDE

Kohdeyrityksessä toteutetut laitteiden huoltotoimet voidaan jakaa karkeasti viiteen eri vaiheeseen, jotka ovat laitteiden purku, pesu, tarkistus, korjaus ja kokoonpano. Tämän työn layout-suunnittelun kohteena on osalle kappaleista pesuprosessiin sisältyvä kemiallinen puhdistaminen. Laitteiden osista poistetaan kemiallisessa puhdistusprosessissa osien pintoihin palanutta karstaa ja pintoihin kiinnittynyttä kattilakiveä sekä ruostetta. Tämän lisäksi osista poistetaan kemiallisesti myös jonkin verran maalia, vaikka käytössä olevan kemikaalit eivät suoranaisesti ole tähän tarkoitettuja.

Edellisessä luvussa perehdyttiin jo kemiallista pesuprosessia ympäröiviin materiaalivirtoihin ja tässä luvussa tutustutaan tarkemmin tähän kemialliseen puhdistusprosessiin ja sen materiaalivirtoihin. Tämän luvun tarkoituksena on luoda käsitys suunnittelun kohteena olevasta puhdistusprosessista ja sen suorituksen nykyisistä toteutustavoista. Lisäksi perehdytään alueen nykyiseen layoutiin resursseineen, käyttötapoineen ja näiden muodostamine haasteineen niin käytettävyyden, huollettavuuden kuin turvallisuudenkin näkökulmista.

4.1 Puhdistusprosessin kuormitus, eteneminen ja toteutustapa

Valtaosa huollettavien laitteiden osista pestään, mutta kemialliseen puhdistusprosessiin näistä pestävistä osista tulee vain murto-osa. Tähän on pääasiassa syynä osien materiaalit, joista suurin osa ei siedä kemiallisessa puhdistusprosessissa käytettäviä kemikaaleja. Itse asiassa osa osien materiaaleista on sellaisia, että ne liukenevat kemikaalialtaisiin sinne joutuessaan. Tämä vaatii työntekijöiltä ammattitaitoa ja tarkkaavaisuutta, jotta osien ja kemikaalien materiaalisopivuus pysyy hallinnassa.

Kemiallista puhdistusaluetta ja sen prosesseja käyttävät paitsi saman tuotantotilan osastoiminnot, myös viereisten tuotantotilojen osastot. Alue voidaankin mieltää eri osastojen väliseksi jaetuksi resurssiksi. Kemiallisen puhdistuksen lisäksi tuotantotilan perällä olevat muut huoltotoiminnot käyttävät alueen pesukonetta, mikä tekee siitä jaetun resurssin eri prosessien kesken. Tämän vuoksi alueen pesukone ei aina ole vapaana kemiallisen puhdistusprosessin tarpeisiin.

Puhdistusalueen kuormitus on vahvasti riippuvainen huoltoon otettujen laitteiden keskinäisestä ajoituksesta. Jos kaksi laitetta esimerkiksi tulevat huoltoon hyvin lyhyen ajan sisällä toisistaan, ruuhkauttaa se hetkellisesti kemiallisen puhdistusprosessin, joka normaalimman töiden ajoituksen aikana voi olla pitkiäkin aikoja lähes käyttämättömänä. Näihin pidempiin matalan kuormituksen tilanteisiin on syynä sekä suhteellisen vähäinen

kemiallisesti puhdistettavien osien määrä, että puhdistuksen painottuminen laitteiden huoltoprosessin alkupäähän.

Kemiallisen puhdistusprosessin kuormitukseen vaikuttaa hyvin vahvasti eri käyttöparametrit. Yksi puhdistusprosessissa varioiva parametri on kappaleiden uittoaika, eli aika jonka kappaleet viettävät kylpien kemikaalialtaissa, ennen kuin ne mielletään riittävän puhtaiksi otettaviksi pois. Tämä uittoaika vaihtelee riippuen niin käytettävästä kemikaalista kuin työntekijästäkin. Esimerkiksi kattilakivenpoistoaine on todettu tehokkaammaksi kuin vanhempi karstanpoistoaine, minkä vuoksi uittoaika kattilakivenpoistoaineessa on paljon lyhyempi, vaihdellen 2-4 tunnin välillä, kun taas karstanpoistoaineen uittoaika vaihtelee 4 tunnin ja 5 päivän välillä. Yleisesti ottaen uittoaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat kappaleen likaisuusaste, kemikaalikylvyn käyttölämpötila sekä kemikaalin kunto. Uittoaikaa voidaan lyhentää kasvattamalla kemikaalikylvyn lämpötilaa, lisäämällä kemikaalialtaaseen nesteen virtausta tai käyttämällä väkevämpää kemikaaliseosta.

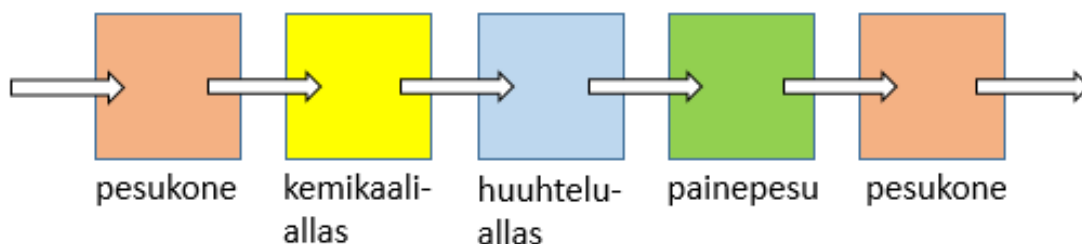
Vaikka kohdeyrityksessä huolletaan useita samanlaisia laitteita, jokaisesta laitteesta eivät samat osat aina käy altaissa, vaikka ne materiaalien puolesta sinne saisivatkin mennä. Tässä taustavaikuttajina ovat osien lähtökohtainen likaisuusaste ja työntekijöiden omat preferenssit. Jos osa mielletään riittävän hyväkuntoiseksi ja puhtaaksi alkujaankin, sen perusteellisempi puhdistaminen kemikaalialtaassa voidaan kokea tarpeettomaksi. Lisäksi työntekijäkohtaiset preferenssit eri toimintatapojen suhteen vaikuttavat siihen, mitkä osat milloinkin käyvät altaissa, kun esimerkiksi osa työntekijöistä mieltää kemikaalit heikkotehoisiksi ja aikaa tuhlaaviksi, ja siksi puhdistavat kappaleita pelkästään manuaalisin menetelmin. Vaikka sama ryhmä työntekijöitä tekisi jatkuvasti töitä samanlaisten laitteiden parissa, eri huoltotyöt jaetaan joka laitteen kohdalla hieman eri tavoin. Tällöin sama työntekijä ei aina tee samaa työvaihetta joka laitteesta, ja työvaiheen tekotapa voi vaihdella tekijänsä mukaan.

Työntekijöillä on suuri vaikutus paitsi kemiallisessa pesuprosessissa käyviin kappaleisiin, myös prosessin toteutustapaan. Tämän vuoksi seuraavissa alaluvuissa esitellään ensin oikeaoppiseksi mielletty prosessin toteutustapa ja sitten nykytilassa esiintyvät käyttäjäkohtaiset variaatiot tästä toimintamallista. Tämän lisäksi selvitetään käyttäjien varioivan toiminnan taustalla vaikuttavia syitä.

4.1.1 Puhdistusprosessi

Kemialliseen pesuprosessiin tuotaville kappaleille on oikeaoppinen puhdistustapa, joka on esitetty kuvassa 4. Prosessi alkaa siten, että kappaleista poistetaan ensin kaikki öljy ja rasvajäämät käyttämällä ne kammiopesukoneessa. Tämän jälkeen on hyvä mekaanisesti puhdistamalla poistaa selkeä irtolika ja esimerkiksi helposti irtoavat maalinriekaleet. Tämän esipuhdistuksen jälkeen kappaleet voidaan latoa erillisiin metallikoreihin ja laskea nämä korit kemikaalialtaisiin. Kappaleet pitäisi asetella koreihin siten, että mah-

dollisimman monet koverat muodot ovat kohti korin pohjaa, jotta näihin kuoppiin ei jäisi kemikaaleja silloin, kun kori nostetaan pois kemikaalialtaasta.



Kuva 4. Kemiallinen pesuprosessi.

Jokaisen altaasta noston yhteydessä kappaleita käännellään hieman, tyhjennetään loputkin kuppimaiset muodot, jotta mahdollisimman suuri osa kemikaaleista valuisi takaisin prosessialtaaseen. Tämän jälkeen kori kappaleineen siirretään erilliseen huuhtelualtaaseen, jossa kiertävä vesi paitsi pysäyttää käynnissä olleen kemiallisen reaktion myös huuhtelee kappaleen pinnat kemikaaleista. Kappaleiden mukanaan viemä kemikaali väkevöittää huuhtelualtaan vettä, minkä vuoksi vesi vaihdetaan säännöllisesti. Kappaleiden käyttäminen huuhtelualtaissa myös varmistaa sen, että kappale on ainakin jollain tavalla kertaalleen huuhdeltu jokaisesta kappaleen kohdasta, mukaan lukien kappaleen sisäpuoliset nestetilat, joita voi olla mahdotonta huuhdella ja pestä muilla keinoin.

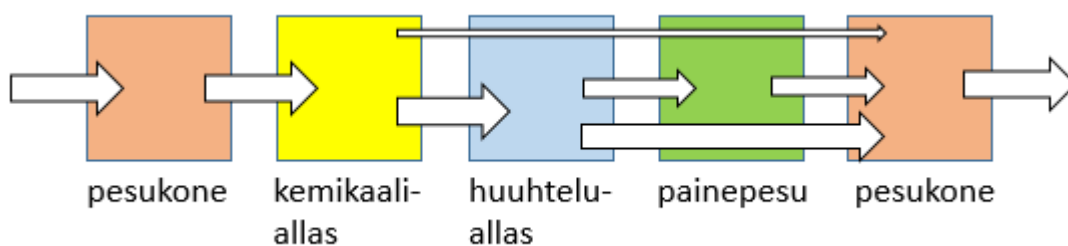
Altaassa huuhtelun jälkeen kappale pitäisi välittömästi pestä painepesurilla kylmällä vedellä. Kemikaaleilla on taipumusta muodostaa eräänlainen kalvo kappaleiden pinnalle ja painepesulla varmistetaan tämän kalvon poistaminen kappaleesta. Kappaleiden huolellinen huuhtelu ja painepesu kemikaaleista on tärkeää useastakin eri syystä. Kappaleiden pintaan jäävät kemikaalit edesauttavat kappaleen ruostumista ja pahimmillaan tuovat joka suhteessa puhtaaksi tarkoitettuun järjestelmään epäpuhtauksia, jotka saattavat jopa rikkoa järjestelmän herkimmat osat. Lisäksi kappaleiden pintaan jääneet kemikaalijäämät saattavat aloittaa epäsuotuisia reaktioita kemikaalialtaassa käynnystä kappaletta ympäröivissä kappaleissa, jos näiden ympäröivien kappaleiden materiaalit eivät siedä kemikaalia. Paras tulos painepesulle saadaan, kun kappaleet poistetaan korista pesun ajaksi, koska muutoin vesi osuu helpommin korin kuin kappaleen pintaan. Painepesun jälkeen kappaleet pestään vielä kammiopesukoneessa, jossa ne saavat paitsi viimeisen puhdistuksensa, myös ruostesuojauksen. Myös tämä pesu tulee tehdä ilman koria edellä esitetystä syystä. Huolellisella painepesulla ja huuhtelulla huolehditaan työn laadun lisäksi myös siitä, että kammiopesukoneen pesuaineet pysyvät pidempään käyttökelpoisina eikä epäsuotuisia kemiallisia reaktioita pääse tapahtumaan.

Kappaleen huuhtelua ja painepesua voidaan tehdä puhdistusprosessin aikana useamman kerran. Kappaleita tulisi säännöllisesti käydä katsomassa ja välipesemässä, jotta osat eivät lojuisi altaissa tarpeettoman pitkään ja, jotta kemikaaleilla olisi toistuvasti uutta tarttumapintaa kappaleiden pinnoilla olevaan likaan. Perusteellisimmillaan välipes-

su tarkoittaa kappaleen pesemistä painepesurilla, jolloin kappaleesta irtoaa kaikki siihen mennessä irtoavaksi saatu lika. Tämän jälkeen kappale voidaan laskea takaisin kemikaalialtaaseen ja odottaa seuraavan likakerroksen irtoamista. Välipesujen merkitys korostuu etenkin niiden kemikaalien ja altain kohdalla, joissa ei ole toteutettu mahdollisuutta nestevirtauksen muodostamiseen. Tällaisissa virtauksettomissa kemikaalikylvyissä kemikaalit muodostavat eräänlaisen kalvon kappaleen pinnalle ja vaikuttavat vain tähän pintakerrokseen. Nestevirtaus tuo mekaanisen puhdistuksen piirteitä, kun virtaus poistaa irtoavaa likaa kappaleiden pinnasta paljastaen uutta pintaa kemikaalien tartunta-alustaksi. Altaisiin toteutettu nestevirtaus paitsi nopeuttaa prosessia, myös vähentää välipesujen tarvetta.

4.1.2 Käyttäjien toimiminen alueella

Haastatteluista käy selväksi, että työntekijän toimintatavoilla on suora yhteys siihen, kauanko henkilö on ollut kohdeyrityksessä töissä. Pitkään yrityksen palkkalistoilla olleet henkilöt huolehtivat perusteellisemmasta kappaleiden jälkipuhdistuksesta painepesuineen, kun taas uusimmat työntekijät saattoivat jättää painepesun kokonaan tekemättä. Työntekijöiden toimintatapojen eroavaisuuksista johtuen prosessin todellinen eteneminen poikkeaa merkittävästi edellä esitetystä oikeaoppisesta prosessin etenemisestä. Kuva 5 esittää haastattelujen pohjalta tehtyä kemiallisen puhdistusprosessin toteutumista, jossa prosessin etenemistä esittävän nuolen paksuus korreloi toimintatavan yleisyyteen. Kuvasta voidaan huomata, miten tekijästä riippumatta kaikki kappaleet käyvät prosessin aluksi ja päätteeksi ohjeiden mukaisesti pesukoneessa, mutta heti kemikaalialtaasta nostosta alkaen prosessissa on merkittävää variointia.



Kuva 5. Prosessin todelliset etenemistavat.

Toimintamallien ero on pitkälti seurausta johdonmukaisen perehdytyksen puuttumisesta. Kokeneet asentajat käyvät usein tekemässä huoltotöitä asiakkaiden luona ja uusimpien työntekijöiden perehdytys kemialliseen puhdistusprosessiin jää niiden työntekijöiden käsiin, jotka silloin sattuvat olemaan paikalla. Usein tämä tarkoittaa, ettei perehdyttäjäkään välttämättä ole ollut kohdeyrityksen työntekijänä kovin kauaa ja näin ollen perehdytyksen kattavuus ja laatu ovat aikojen saatossa kärsineet. Muutamankaan vuoden työssä ollut henkilö ei välttämättä ole paras henkilö perehdyttämään toista, koska yksittäinen asentaja käyttää kemiallista puhdistusaluetta hyvinkin harvakseltaan. Tällöin

on hyvin helppo unohtaa kertaalleen opetetut käyttäytymisohjeet ja kehittää tilalle omia menetelmiä. Ajan saatossa on voinut myös unohtua, mikä on minkin työvaiheen merkitys ja, kuinka se vaikuttaa paitsi lopputuotteeseen, myös muuhun ympäristöön. Työnjohdossa loppupuhdistus koetaan prosessin tärkeimmäksi vaiheeksi johtuen kemikaalijäämien aiheuttamista moninaisista ongelmista ja haasteista. Haastattelujen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että tuoreimmat työntekijät kiinnittävät kappaleen loppupuhdistukseen vähiten huomiota, erityisesti koska eivät ole tietoisia työvaiheen tärkeydestä.

Työntekijän palvelusajasta riippumatta jokainen kemikaaliallasaluetta käyttänyt kuitenkin huolehtii kappaleiden asianmukaisesta esipuhdistamisesta. Tämä edesauttaa kemikaalien pidempää käyttöikää, kun aineille haitalliset rasvat ja öljyt poistetaan systemaattisesti kappaleista. Tämän lisäksi jokainen työntekijä käyttää kappaleen kemikaalialtaissa käytön jälkeen pesukoneessa, jotta saadaan helposti sekä puhdistettu kappale, että toteutetuksi kappaleen ruostesuojaus. Näiden työvaiheiden merkitykset näkyvät työntekijälle itselleenkin konkreettisesti joko kemikaalin tehon nopeana heikkenemisenä tai kappaleiden nopeana ruostumisena.

Riippuen sekä työntekijöiden palvelushistorian pituudesta, että kemiallisen puhdistusalueen käyttöiheydestä, työntekijöillä on vaihtelevia käsityksiä käytössä olevien aineiden käyttötarkoituksista ja muista alueen toiminnoista. Käytetyt kemikaalit ovat pääosin tarkoitettu karstan poistoon, mutta yllättävän moni ilmoittaa pääasiassa yrittävänsä irrottaa kappaleista ruostetta ja maalia. Aineet toimivat tähänkin tarkoitukseen, mutta eivät erityisen hyvin, minkä seurauksena kappaleita kylvetetään altaissa tavattoman pitkiä aikoja. Uittoajat vaihtelevat työntekijästä riippuen muutamasta tunnista muutamaaan päivään.

Myös alueen ja kemikaalien turvallisuudesta on hieman vaihtelevia näkemyksiä työntekijöiden keskuudessa. Tähän ei niinkään vaikuttanut työntekijän työhistorian pituus vaan ennemminkin työntekijän luonteenomainen käyttäytyminen. Kokeneemmat työntekijät ovat luonnollisesti rohkeampia käyttämään kemikaaliallasaluetta ja ovat saattaneet suorittaa alueella omia testejänsä esimerkiksi kemikaalien purevuudesta niille sopimattomiin materiaaleihin. Tunnollisimmat ja varovaisimmat työntekijät käyttivät aina vähintään kasvonsuojainta ja kemikaalien kestäviä kumikäsineitä. Varomattomimmat ja vilkkaimmat tyytyivät toimiessaan käyttämään työhanskoja ja suojalaseja. Painepeupaikalla yllättävän harva pukeutuu tarjolla oleviin kumisaappaisiin ja suojasuun. Ehdottomasti yleisin haastattelujen yhteydessä ilmennyt syy suojainten käyttöön oli itsesuojelu kaikilta roiskeilta ja haluttomuus ottaa riskejä oman terveyden suhteen. Suojainten käyttämättömyyteen syynä puolestaan on useimmiten käsitys siitä, etteivät kemikaalit ole kovinkaan vaarallisia.

4.2 Tila, sen ongelmat ja haasteet

Kohdeyritys toimii usean tuotantotilan kompleksissa. Huoltotöiden sujuvuuden vuoksi kuhunkin tuotantotilaan on sijoitettu laitteiden purku-, pesu-, korjaus- ja kokoonpanotoimintoja tukevia työpisteitä. Tämän lisäksi eri tuotantotiloihin on sijoitettu tilaan parhaiten mahtuvia, pienemmällä kuormituksella olevia erityisprosesseja, jotka ovat jokaisen tuotantotilan yhteisessä käytössä. Tällaisia erityisprosesseja ovat kemiallisen puhdistuksen lisäksi muun muassa kappaleiden kunnan tarkastus ja koneistustoiminnot.

Koska kemiallinen puhdistusalue on keskitettynä yhteen kohdeyrityksen useammasta tuotantotilasta ja sitä kuormitetaan pääasiassa eri tuotantotiloista, aiheutuu tästä yrityksen sisällä jonkin verran materiaalivirtaa tuotantotilojen välillä. Materiaalivirta, ja sen hallinta, tuovat omat haasteensa prosessin ohjaukseen ja resurssien jakoon eri tuotantotilojen tarpeiden välillä. Prosessin toteutukseen käytettävät resurssit ja tilat puolestaan tuovat laajan kirjon omia haasteitaan. Nykytilassaan kemiallisen puhdistusalueen toiminnassa esiintyvät haasteet on seuraavissa alaluvuissa esitetty aiheuttajistaan riippuen tiloista, toimintatavoista ja käyttäjien toiminnasta johtuviin.

4.2.1 Nykyinen layout

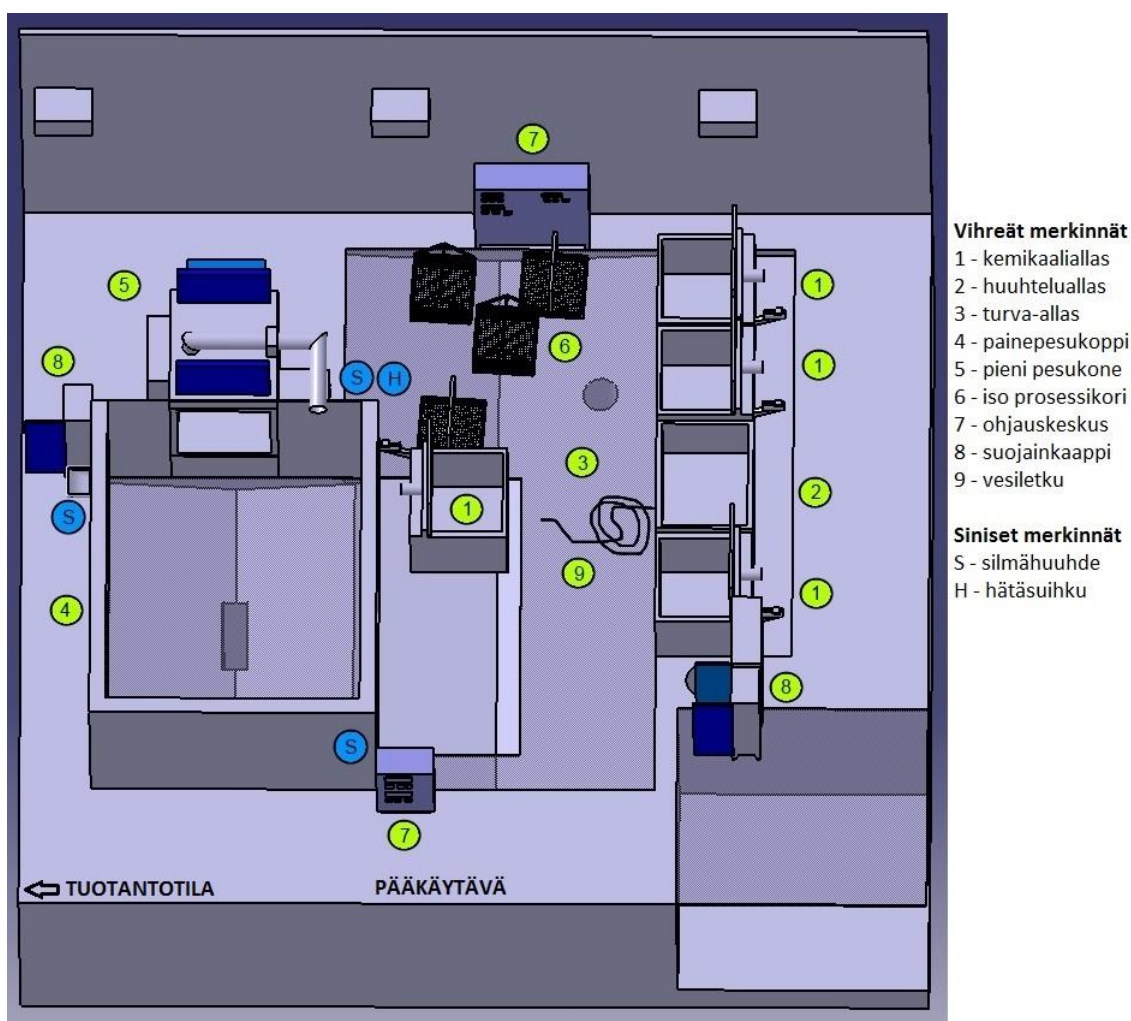
Kemiallinen puhdistusprosessi vaatii kemikaali- ja huuhtelualtaiden lisäksi pesukoneen ja painepesupaikan, jotta luvussa 4.1.1 esitetty prosessi saadaan toteutettua. Näiden resurssien lisäksi prosessin ympärille vaaditaan joukko muitakin resursseja pelkästään altaiden käyttämiseen ja alueen turvallisuudesta huolehtimiseen. Kuva 6 esittää kemiallisen puhdistusalueen nykyisen layoutin, jossa neljä kemikaalialtasta (1) ja näille altaille yhteinen huuhteluallas (2) on sijoitettu turva-altaaseen (3). Turva-altaan tarkoituksena on kemikaalialtaiden rikkotilanteessa kerätä kemikaalipitoiset nesteet ja estää niitä pääsemästä viemäriverkkoon. Turva-allas on eroteltu normaalista jätevesiviemäristä viemärin suuaukolle asennetulla metallikauluksella. Työskentely tapahtuu turva-altaan päällä ritilälattialla, joka on kuvassa esitetty läpikuultavana, tummanharmaana pintana.

Kappaleiden painepesu suoritetaan erillisessä painepesukopissa (4), jonka kyljessä on pieni kaksiovinen pesukone (5), joka voidaan siis täyttää sekä painepesukopin sisäpuolelta, että puhdistusalueen takaseinän suunnasta. Painepesupaikalle päästään pääkäytävän puoleisella sivulla olevasta ovesta, jolloin joudutaan hetkeksi poistumaan ritilälattian rajaamalta prosessialueelta. Tyypillisesti tämä siirtymä suoritetaan asettamalla kappaleet sisältävä prosessikori (6) pumppukärjyille ja siirtämällä kokonaisuus koppiin.

Kemikaalialtaat avataan niiden etuseinillä olevista kytkimistä, mutta niiden lämpötiloja säädetään ja seurataan erillisestä ohjauskeskuksesta (7). Ohjauskeskuksen etuseinän paneelissa on valoindikaattorit kemikaalialtaiden alhaisen nestepinnan tai lämpötilan ilmoittamiseen, sekä kytkimet ongelmatilanteen korjaustoimien teon kuittaamiseen. Kemikaalien nestepinta nostetaan lisäämällä niihin puhdasta vettä. Painepesukopin

seinustalla sijaitsevaa allasta lukuun ottamatta altaiden täyttö tapahtuu niihin kiinnitettyjen kiinteiden vesiputkien avulla. Painepesukopin seinustan altaan täyttöön sekä satunnaiseen kappaleiden huuhteluun altaiden päällä käytetään huuhtelualtaan täyttöputkeen liitettyä vesilettoa (9).

Kemikaalien kanssa työskentelevien ihmisten turvallisuuden parantamiseksi kuvassa 6 esitetään myös hätäsuihkun (H) ja silmähuuhdeiden (S) paikat. Paikat on alun perin valittu sellaisiksi, että ne olisivat nopeasti saavutettavissa alueen jokaisesta kolkasta. Myös työntekijöiden turvallisuutta edistävien suojainten säilytyskaappi (8) on esitetty layout-kuvassa. Suojainkaapeista löytyvät painepesun roiskeilta suojautumista varten kumisaappaat, suojapuku, kasvonsuojain ja valikoima erilaisia kemikaaleja kestäviä suojakäsineitä myös prosessin muiden vaiheiden toteutukseen.



Kuva 6. Kemiallisen puhdistusalueen nykyinen layout.

Kuvasta 6 ei kuitenkaan näy aivan kaikkia alueen resursseja. Puhdistusalueen seinustalla, pesukonetta vastapäätä oleva pienien prosessikorien säilytyshylly ja painepesukopin seinustalla oleva ultraäänipesukone huuhtelualtaineen on jätetty pois, koska näitä resursseja ei aiota tuoda uuteen layoutiin niiden vähäisen käytön takia. Kuvassa ei selkey-

den vuoksi myöskään näy painepesupaikan seinustalta alueen toiseen reunaan ulottuvaa pientä siltanosturia, jota käytetään täysien prosessikorien nostamiseen eri resurssien välillä. Kuvasta voidaan näistäkin puutteista huolimatta huomata, ettei näille isommille prosessikoreille ei ole varsinaista säilytyspaikkaa vaan niitä säilytetään prosessialueen perällä epämääräisessä järjestyksessä. Alue on melko ahdas eikä siinä täten ole varsinaista säilytystilaa myöskään prosessin työjonolle tai huollon työkaluille.

4.2.2 Layoutin tuomat haasteet

Resurssien fyysinen asettelu aiheuttaa alueella erilaisia haasteita. Esimerkiksi eriytetty painepesukoppi on asetettu siten, että varsinaiselta kemialliselta puhdistusalueelta on poistuttava ja kuljetettava kappaleet painepesuun aluetta reunustavaa käytävää pitkin. Siirto on tehtävä pumppukärryillä tai muulla vastaavalla kuljetusmenetelmällä, koska koppi ei ole saavutettavissa nosturin avulla. Tämä on epäkäytännöllistä ja lisää paitsi alueella tehtävää kappaleiden käsittelyä, myös alueella tarvittavien työkalujen määrää erillisten pumppukärryjen muodossa. Altaiden fyysinen sijoittelu puolestaan estää kappaleiden siirtämisen nosturilla viereiseen kappaleiden kunnan tarkastuspisteeseen, koska altaiden ilmanvaihtoputket poistavat kulkumahdollisuudet. Ilmastointiputkien lisäksi suora siirto kunnontarkastusalueelle estyy myös nosturin asennuksesta, sillä nykyinen nostin ei ulotu särötarkastusalueelle ollenkaan. Vaikka kappaleet menisivät heti seuraavaksi tarkastettaviksi, on siirto tehtävä taas pumppukärryjen tapaisella ratkaisulla tai ketjuttamalla useita nostoja peräkkäin, mikä myös lisää kappaleiden käsittelyn määrää.

Itse painepesukoppia käytetään painepesun lisäksi myös tuotantotilan mekaanisen puhdistuksen toteutustilana, jolloin tilassa on painepesun kannalta paljon tarpeettomia työkaluja ja muita resursseja. Nämä resurssit vievät kopin etureunalta paljon tilaa, mikä vaikeuttaa painepesukoppiin pääsemistä etenkin isompien kappaleiden kanssa. Toinen painepesukopin saavutettavuutta häiritsevä tekijä on tuotantotilan tai kemiallisen puhdistusprosessin työjonon säilyttäminen alueen reunan tuntumassa. Vaikka käytävän toisella sivustalla on tilava trukkihylykkö, ei sitä nostotyökalujen hankalan saatavuuden vuoksi juurikaan hyödynnetä. Kun painepesukoppia käyttävät myös tuotantotilojen siistijät, eikä kopin toimintaa ole optimoitu yhdellekään sitä hyödyntävistä toiminnoista, aiheuttaa se haasteita monelle työntekijälle. Painepesuunkin koppi on vain keskinkertainen, sillä sen ritilälattian alaiset kaadot ovat niin loivia, ettei veden virtaus kuljeta pesupaikan alle tippuvaa likaa ja roskia pois ja ne roiskuvat veden paineen seurauksena herkästi takaisin pestäviin kappaleisiin.

Alueen resurssit pienestä siltanosturista lähtien koetaan myös riittämättömiksi. Nosturin ja prosessikorien kantokyvyt ovat aivan ylärajoillaan, kun käsitellään isoimpia ja painavimpia alueella puhdistettavia kappaleita. Alueella on kyllä käytettävissä myös koko tuotantotilan kattava, erittäin jyrä siltanosturi, mutta sen käyttö ei ole mielekästä, koska samalla alueella operoivat nosturit sotkeentuvat herkästi keskenään siten, että

toista on jatkuvasti siirrettävä pois toisen tieltä. Toisen nosturin siirtäminen täysin pois isomman nosturin tieltä ei ole helppoa jo pelkästään siltanosturien rakenteiden vuoksi.

Sama kantokykykysymys kohdistuu myös alueen pieneen pesukoneeseen. Kappaleiden painon lisäksi pienen pesukoneen käytössä tulee säännöllisesti vastaan sen rajoittunut tilavuus, kun altaissa käytettävien kappaleiden määrä vaatisi suurempaa pesukapasiteettia. Muutamien kappaleiden kanssa on myös niin, että kone on vain liian pieni niiden pesemiseen, jolloin ne pestään toisissa tuotantotiloissa ja kuljetetaan näiden eri tilojen välillä useita kertoja edestakaisin. Pesukone on ehdottomasti alueen kuormitetuin resurssi, sillä sitä käytetään kemiallisen puhdistusprosessin lisäksi myös muihin tuotantotilassa suoritettaviin puhdistuksiin. Korkeasta käyttöasteesta huolimatta pesukoneen käyttömukavuus on olematonta, kun koneen puhdistusalueen takaseinän suunnan täyttöluukun ympäristö on ahdas sekä kemiallisen puhdistusalueen, että tuotantotilan puolelta. Lisäksi pesukone on sijoitettu siten, että tuotantotilan puolella käytettävä kääntöpuominosturi voi törmätä pesukoneen avoimeen oveen ja törmäyksen yhteydessä joko suistaa oven paikoiltaan tai vääntää oven runkoa.

Isompien kappaleiden kanssa tulevat vastaan myös kemikaalialtaiden kokorajoitteet, jolloin isoimmat kappaleet käytetään altaissa puolikas kerrallaan. Tällöin kappaleita joudutaan roikottamaan kantokykynsä rajamailla olevasta nosturista altaassa, jonka kantta on pidettävä auki. Sen lisäksi, että isojen kappaleiden roikotus sitoo nosturin kokonaan käyttöönsä ja estää alueen muiden altaiden operoinnin, ongelmaksi muodostuu myös veden haihtuminen. Kemikaalialtaista haihtuu suljetuinakin suuria määriä vettä, koska niitä joudutaan lämmittämään kemiallisen puhdistuksen tehokkuuden nostamiseksi. Kansien pitäminen auki lisää tätä haihtumista entisestään. Veden haihtuessa altaiden vedenpinta laskee ja laskettuaan riittävästi altaan turva-automaatiikka katkaisee altaiden lämmityksen, mikä johtaa altaan lämpötilan laskuun ja täten myös kemikaalien toimintakyvyn heikkenemiseen. Altaista haihtuva vesi aiheuttaa myös omia haasteitaan, kun se aikanaan jäähtyy ilmanvaihtoputkistossa ja tiivistyy takaisin vedeksi. Tiivistynyt vesi aiheuttaa ilmanvaihtoputkiston ruostumista ja syöpymistä, mikä aiheuttaa säännöllisiä paikkaustoimenpiteitä.

Ilmastointiputkiston huoltotoimenpiteiden lisäksi myös alueen altaille, viemärisihdeille ja pesukoneelle tehdään suhteellisen säännöllisiä huoltoja. Huoltotoimenpiteiden suorittamiseksi vaaditaan paitsi esteetöntä kulkua altaiden säätötauluille myös altaiden takaseinille. Kumpikin toiminto on nykytilassa haasteiden takana, kun altaiden takasienilä tilat ovat ahtaat ja alueen takaseinustalla säilytetyt korit tukkivat kulkuväylää säätötauluille. Altaiden tyhjennysten ja kemikaalien vaihdon yhteydessä alueelle pitää tuoda erillinen kontti, johon kemikaalialtaat tyhjennetään. Kontin tuominen alueelle on kuitenkin haastavaa paitsi ritilälattian myös ahtauden ja epäsiisteyden vuoksi. Pumppukärkyjen työntäminen ritilälattialla on raskasta ja alueelle jääneet kuormalavat estävät sujuvaa alueelle saapumista minkään isomman kappaleen kanssa. Paikalleen tuotu kontti täyttää altaiden välisen kulkuväylän kokonaan ja estää alueella toimimisen vain yhteen-

kin altaaseen kohdistuvien huolto-operaatioiden aikana. Huolto-operaatioiden laiminlyönti aiheuttaa kemikaalien kunnan heikkenemistä, joka puolestaan aiheuttaa yhä suurempaa variaatiota puhdistusaikaan.

4.2.3 Toimintatavan tuomat haasteet

Prosessin toteutustavalla on vaikutusta erityisesti kemikaalien vaihtoväleihin. Kappaleiden huuhtelu yhteisessä huuhtelualtaassa tekee huuhteluveden tilan tuntemattomaksi, minkä vuoksi se pitäisi vaihtaa usein. Tämän lisäksi huuhteluvettä käytetään myös altaiden täyttämiseen, minkä vuoksi altaiden eri kemikaalit sekoittuvat ja täten aineiden puhdistuskyky heikkenee. Tähän ollaan kuitenkin hiljattain puututtu, joten kaikkia altaita ei enää täytetä huuhtelualtaasta vaan ainoastaan tiettyä kemikaalia sisältäviä altaita. Tämän vuoksi loput altaat pysyvät paremmassa kunnossa. Näiden muiden altaiden täyttöön käytetään vesiletkua, jonka veden virtaus ja myös täten suhteellisen kookkaiden altaiden täyttäminen, on hidasta.

Käyttäjien toimintatavoillakin on vaikutusta kemikaalien käyttöikänsä. Altaissa käytettäviä kappaleita asetellaan leväperäisesti koreihin, jolloin kappaleiden sisälle tai koveriin pinnanmuotoihin voi jäädä kemikaaleja melko suuriakin määriä. Kemikaalit siirtyvät kappaleiden mukana huuhtelualtaaseen väkevöittäen huuhteluvettä ja laimentaen varsinaista puhdistusseosta, mikä aiheuttaa aineiden tiheämpää vaihtoväliä. Lisäksi kemikaalialtaissa käytetään välillä tarkoituksellisesti niihin materiaaliensa puolesta sopimattomia kappaleita, koska kappaleiden pintakerroksien syöpyessä pois niiden pinnat näyttävät lyhyenkin käsittelyn jälkeen puhtaammilta, kiiltävämmiltä ja kaikin puolin paremmilta. Kemikaaleihin liuenneet vieraan materiaalin partikkelit kuitenkin siirtyvät altaissa myöhemmin käytettävien kappaleiden pintoihin, jolloin ne tarpeettomasti värjäntyvät. Kemikaalin käyttötarkoitukseen nähden vieraiden aineksien, kuten maalin, poistaminen myös lisää altaan likaisuutta, kun irronneet ainekset joko sekoittuvat kemikaalin joukkoon tai valuvat altaan pohjalle. Kummassakin tapauksessa toimintamalli heikentää aineiden toimivuutta ja lyhentää aineiden vaihtovälejä. Lisäksi kappaleita käytetään altaissa tarpeettoman pitkiä aikoja, koska niistä yritetään poistaa aineksia, joiden poistoon kemikaalit eivät suoranaisesti ole tarkoitettuja. Nämä turhaan pidentyneet uittoajat aiheuttavat satunnaista jonoa kemikaalialtaisiin sekä hidastaa töiden etenemistä.

Käyttäjien toiminnot ja niiden vaihtelut vaikuttavat kemikaalien vaihtovälin lisäksi myös muuhun alueen toimintaan. Käyttäjät, jotka jaksavat ja malttavat valuttaa kemikaalit korien nostojen yhteydessä takaisin kemikaalialtaisiin edesauttavat alueen yleistä siisteyttä, kun kemikaalivalumat eivät pääse yhtä paljon esimerkiksi sotkemaan altaiden kylkiin kiinnitettyjä ohjelappuja tai syövyttämään sähköjohtojen suojiksi asennettuja metalliputkia. Myös kappaleiden huuhtelu ja jälkipuhdistustavoilla on omat vaikutuksensa, kun esimerkiksi kappaleiden huuhtelu vesiletkulla ritilälattian päällä kerää vettä turva-altaaseen, jonka pitäisi pysyä kuivana ja puhtaana, jotta se toimii suunnitellusti altaiden rikkotilanteessa. Lisäksi ritilälattian alla olevan turva-altaan puhdistaminen on

todella hankalaa. Toinen jälkipuhdistuksessa esiintyvä haaste syntyy, kun kappaleiden vienti painepesuun toteutetaan usein prosessikorien ja pumppukärkyjen kanssa. Kun kappaleet viedään painepesupaikalle prosessikoreissa, aluetta reunustavan käytävän lattialle valuvan kemikaalijäämäisen veden määrä on hieman suurempaa kuin ilman koria. Lisäksi kappaleiden painepesu koreissa aiheuttaa veden suurempaa roiskumista ja kappaleiden heikompaa puhdistumista, kun vesi kohdistuu ennemmin korin verkotukseen eikä kappaleen pintaan.

Alueen epäsiisteyttä edesauttaa merkittävästi myös varastotilojen puute. Pelkästään prosessikorien lasku sinne, missä milläkin hetkellä on tarpeeksi tilaa, antaa epäsiistin vaikutelman tilasta. Lisäksi kappaleiden kuljetukseen käytetyt trukkilavat jätetään usein keskelle kulkuteitä, kun ei niille parempaakaan paikkaa ole osoitettuna. Alueen ahtaus ja sotkuinen ulkomuoto, ilman ylimääräisiä lavojakin, edesauttaa sotkuisuuden lisääntymistä, kun alueelle tarpeettomasti jäävät resurssit tai kappaleet eivät pistä silmään normaalitilassa. Lähtökohtaisesti siistimpi alue on helpompi myös pitää siistinä, kun henkinen kynnyksien jälkien siivoamattomuuteen kasvaa.

Käyttäjien toimintatapojen, uuttoaikojen ja työn keston vaihteluiden vuoksi alueen hallinta on hankalaa. Töitä ei voida sen tarkemmin ajoittaa tehtäviksi, kun ei oikeastaan koskaan tiedetä, milloin alue on vapaana ja, kauanko prosessi milloinkin kestää. Käyttäjien toiminnan standardoimattomuus aiheuttaa yleisiä laatuheilahteluita paitsi prosessin myös tuotannon kokonaisuudessaan aikaansaamaan lopputulokseen.

4.3 Turvallisuus

Kemiallisella puhdistusalueella työskentelyssä on monesta eri lähteestä syntyviä turvallisuusriskejä. Suurimmat riskit liittyvät kemikaalien käyttäjilleen aiheuttamiin riskeihin, mutta myös muut alueen resurssit ja ominaisuudet vaativat huomioimista turvallisuuskäsitteistä. Kaikki alueen riskit eivät suinkaan kohdistu alueen varsinaiseen käyttäjään vaan myös muihin tuotantotiloissa työskenteleviin henkilöihin sekä joissain tapauksissa myös itse alueen resursseihin. Erityisesti työntekijöihin kohdistuvia riskejä on kartoitettu ISO 12100 standardin [47] mukaisella riskin vaarallisuuden ja tapahtumatoennäköisyyden huomioivalla arviointimenetelmällä. Työn liite B sisältää riskien arvioinnissa ja analysoinnissa käytetyn pohjan.

Seuraavissa ala-luvuissa esitellään kemiallisella puhdistusalueella eri syistä aiheutuvia riskejä. Riskien tunnistus on ensiaskel niiden eliminointiin. Riskianalyysin perusteella alueen riskit johtuvat pääosin työntekijöiden huolettomuudesta tai varomattomuudesta toimistaan, mutta kuten edellisissä luvuissa on jo esitetty, myös alueen resursseista aiheutuu jonkin verran riskejä. Osa riskeistä voidaan poistaa layout-suunnittelun avulla, muttei suinkaan kaikkia. Tällaisessa ympäristössä osa riskeistä on aina sellaisia, että niihin voivat vaikuttaa ainoastaan alueella työskentelevät henkilöt omalla huolellisella ja varovaisella toiminnallaan.

4.3.1 Tilan ja työkalujen tuomat turvallisuusriskit

Kuten aiemmin on jo mainittu, puhdistusalue on ahdas eikä siellä ole määrättyjä säilytyspaikkoja prosessikoreille tai työjonolle. Prosessikorien säilytyspaikaksi on täten muodostunut puhdistusalueen takaosa, jossa ovat paitsi prosessialtaiden säätökytkimet, myös alueen hätäsuihku. Korit tukkivat kulkuteitä ja vaikeuttavat säätötaulujen ja hätäsuihkun saavutettavuutta, mikä aiheuttaa alueen käyttäjille ongelmia. Erityisesti hätäsuihkun saavutettavuus on tärkeää, jotta kemikaalien roiskumistilanteissa käyttäjät pääsisivät mahdollisimman nopeasti huuhtelevaan altistuneen alueen runsaalla vedellä.

Myös alueella säilytettävät lavat ja toisinaan niiden päällä olevat osat aiheuttavat omat riskinsä. Tilojen ahtauden vuoksi alueella säilytettävät lavat pakottavat työntekijät liikumaan lavojen päällä ja väleissä, jolloin niihin on helppo kompastua. Tällainen lavojen kiertely aiheuttaa riskejä paitsi alueen käyttäjille, myös lavojen päällä oleville kappaleille, kun ne voivat kompastumisen yhteydessä pudota lattialle, saada päälleen kemikaaliroiskeita tai vaikka noston yhteydessä tipahtavan kappaleen. Osien kolhimisella voi olla seurauksena kasvavat kustannukset joko uusittavien osien lisääntymisen tai korjaustarpeen kasvun myötä. Myös alueen reunamilla säilytettävät lavat aiheuttavat turvallisuusriskin, kun ne estävät pääsyä painepesukopin seinustalle asetetulle silmähuuhteelle. Toinen lähiseudulle asetettu silmähuuhde on hätäsuihkun yhteydessä ja se on usein saavuttamattomissa prosessikorien takia.

Käytettävissä olevien resurssien kestävyys ja kantokyky on jo edellä mainittu alueen haasteeksi, mutta ne aiheuttavat myös turvallisuusriskejä. Pieni, kestävyytensä ääri rajoille kuormitettu nosturi aiheuttaa erilaisia riskejä käyttäjilleen. Erityisesti on huomattu, että nostettaessa kappaleita kemikaalialtaista, nosturilla on tapana ikään kuin tiputtaa kuormaa pienen matkaa takaisin alaspäin. Tämä on seurausta taakan kasvusta, kun kemikaaliseoksen kuormaa keventävä nosteen vaikutus poistuu. Äkillisesti kasvava taakka aiheuttaa nosturin rakenteiden joustamista ja tämä edelleen kemikaalien roiskumista, kun taakka lätsähtää takaisin nestepintaan. Nosturin lisäksi myös alueen lattia on kantokykynsä rajoilla. Sen lisäksi, että alueen lattia on kertaalleen aiheuttanut vaaratilanteen, alueella liikuessa lattia tuntuu yleisesti heikolta ja joustavalta kuljetettaessa raskaita kappaleita pumppukärryillä, jotka kohdentavat kappaleen painon hyvinkin pienelle kosketusalalle. Tapahtuessaan lattian pettäminen voi aiheuttaa työntekijöille vakaviakin vammoja.

Alueen logistiset ominaisuudet aiheuttavat myös turvallisuusriskejä paitsi alueen käyttäjille, myös muille tuotantotiloissa työskenteleville, kun nesteitä valuttavia kappaleita joudutaan kuljettelemaan pumppukärryillä alueen ulkopuolella. Tällaista liikuttelua ovat paitsi kappaleiden siirto painepesupaikalle, myös isompien kappaleiden siirto toisen tuotantotilan pesukoneeseen. Kappaleista valuvat nesteet aiheuttavat kaikille kulkijoille liukastumisriskin, minkä vuoksi tällaisesta selkeästi ylimääräisestä kappaleiden liikuttelusta on yhä suurempi syy päästä eroon.

4.3.2 Käyttäjien toiminnasta aiheutuva turvallisuus

Alueen käyttäjät vaikuttavat suuresti alueen turvallisuuteen omalla toiminnallaan. Näistä ehdottomasti tärkeimpänä turvallisuutta lisäävä tekijä on käyttäjien rauhallisuus ja huolellisuus työtehtävien suorituksessa. Pelkästään kemikaalialtaiden avaamisen yhteydessä on käyttäjän osattava huomioida raottuvan kannen välistä nousevat kemikaali- ja vesihöyryt ja olla tuomatta kasvojaan turhan lähelle aukeavaa kantta, jotta ei hengittäisi näitä höyryjä. Altaisiin liitetty ilmanvaihto tehostuu kannen aukeamisen yhteydessä, mutta tähän tehostumiseen on hienoista viivettä, minkä vuoksi turvallisuudesta huolehtiminen jää tässä vaiheessa käyttäjän itsensä hartioille. Myös prosessikorien kemikaalialtaista nostojen tai laskujen yhteydessä on käyttäjien toimittava rauhallisesti, jotta välttyään kemikaaliroiskeilta. Tämän lisäksi on hyvä odotella kiireettömästi kemikaalien valumista takaisin altaaseensa ennen korin siirtämistä huuhtelualtaaseen. Näin voidaan välttää kemikaaliroiskeet paitsi käyttäjien päälle myös eri resurssien päälle ja helposti parantaa alueen siisteyden ylläpitämistä.

Koska työntekijät joutuvat työskentelemään kemikaalien läheisyydessä, erilaiset roiskeet ovat todennäköisiä, riippumatta siitä, kuinka rauhallisesti työntekijät toimivat alueella. Tämän vuoksi suojainten käytöllä on suuri merkitys. Puhdistusalueella on asianmukaisesti varusteltu suojainkaappi, mutta on käyttäjän itsensä huolehdittava suojainten käytöstä. Kaikki työntekijät eivät suhtaudu samalla vakavuudella kemikaaleihin ja tämän vuoksi suojainten käytössä on eroja. Suojainten käyttö on helppo tapa lisätä työntekijän omaa turvallisuutta ja täten vähentää terveyteen kohdistuvia riskejä prosessin eri vaiheissa.

Yleinen siisteys yhdistettynä käyttäjien huolellisuuteen ja rauhallisuuteen pienentävät myös vallitsevaa riskiä altaaseen kaatumisesta. Huuhtelualtaiden kanssa riski on jatkuva, koska niissä ei ole kansia ja kemikaalialtaiden kanssa riski esiintyy aina altaiden kanssa työskennellessä. Altaaseen horjahtamisen riski on suurimmillaan kuitenkin huoltotoimenpiteiden ja erityisesti altaiden pesujen yhteydessä, kun huoltohenkilön on pahimmassa tapauksessa kiivettävä tyhjennettyyn altaaseen suorittamaan pesua. Tällöin on hyvin mahdollista horjahtaa ja tipahtaa viereiseen altaaseen. Koska kemikaalialtaissa on yleensä kannet suljettuina, on tämä riski ajankohtainen lähinnä huuhtelualtaiden kohdalla.

Yksittäisen käyttäjän toimilla on vaikutus myös muiden käyttäjien turvallisuuteen. Alueen pitäminen siistinä ja esteettömänä on kaikkien etu. Valitettavasti nykytilassa esimerkiksi prosessialtaiden täyttöön ja kappaleiden huuhteluun käytettävä vesiletku jätetään useimmiten altaiden eteen maahan lojumaan. Tämä voi aiheuttaa alueella liikkujalle kompastumisriskin, jos ei osaa siinä paikassa katsoa jalkoihinsa. Tämän lisäksi altaiden hidas täyttö letkulla aiheuttaa riskin siihen, että täyttöprosessi voi jäädä valvomatta, kun työntekijä lähtee täytön ajaksi suorittamaan jotain muuta tehtävää. Tällöin myös riski altaiden ja mahdollisesti myös turva-altaan ylitäyttöön kasvaa.

5. KOHTEEN LAYOUT-SUUNNITTELU

Tässä luvussa palautetaan ensin mieliin mistä lähtökohdista layout-suunnittelu tehdään ja mitkä ovat suunnittelun varsinaiset tavoitteet. Nämä mielessä pitäen voidaankin jatkaa fyysiseen layout ehdotukseen vaadittavien päätösten muodostukseen. Yksi merkittävimmistä päätöksistä on kemiallisessa puhdistuksessa käytettävien kemikaalien valinta kustannustarkastelujen avulla. Kemikaalien käyttökustannusten vertautuminen nykyisiin kustannuksiin on hyvin vahvasti riippuvainen prosessiin sisältyvän huuhtelun toteutustavasta ja valitusta jätteenkäsittelymenetelmästä, minkä vuoksi näitäkin aihealueita on tutkittu tässä luvussa. Huuhtelun toteutustavan valinta osoittautui myös erittäin tärkeäksi päätöksi kustannusten lisäksi myös tarvittavien resurssien kannalta. Myös muut prosessin vaatimat resurssit tarkastellaan seuraavissa alaluvuissa.

Koska kohdeyrityksessä ei osattu yksiselitteisesti määrittää kemiallisen puhdistusprosessin kapasiteetin tarvetta, on alueen kapasiteettia arvioitu erilaisilla käytettävissä olevien resurssien skenaarioilla ja tätä muodostettua kapasiteettiarviota vertailtu nykyiseen kapasiteettiin. Skenaarioilla etsittiin ideaalitilanne niin kapasiteetin kuin resurssien kuormituksenkin suhteen ja tästä ideaalitilanteesta muodostetaan lopulta muun muassa tilarajoitteiden pohjalta optimaalisimmat layout-ehdotukset.

5.1 Lähtökohdat suunnittelun aloitukselle

Layout-suunnittelun ajankohtaisuuden taustalla on jo hankittujen isompien kemikaalialtaiden saaminen käyttöön. Nykyisen tilan koon ja ahtauden seurauksena altaiden käyttöönottamiseksi on välttämätöntä suorittaa alueelle laajennus. Layout-suunnittelun lähtökohdiana on, että kemiallisen puhdistusprosessin alue pysyy samoilla paikoillaan, koska vastaavan tilan rakentaminen toiseen tuotantotilaan paitsi hankaloittaa kohdeyrityksen toimintaa perustelemattoman paljon, myös vaatisi uusiin tiloihin suuria infrastruktuurisia muutoksia esimerkiksi ilmastointijärjestelmien muutosten muodossa. Nykyinen sijainti on perusteltu myös keskeisyydellään, sillä se on jaettuna resurssina sijoitettuna eri tuotantotilojen puolivälissä sijaitsevaan yhteisten prosessien tuotantotilaan.

Tilassa itsessään on rajoitteita sen suhteen, mihin suuntaan sitä voidaan laajentaa. Tätä määräävät erityisesti kulkuväylät tuotantotilan perälle, viemärien sijainnit lattiassa ja nostolaitteiden kannattimet seinällä. Lähtökohtaisesti laajennustarve yritetään pitää mahdollisimman pienenä ja alueen muutostarpeet minimissään, mutta tästä voidaan tinkiä käytettävyyden nimissä. Pääasiana on siis ennen kaikkea muodostaa prosessia hyvin tukeva alue ja tilalliset vaatimukset ovat prioriteeteissa vasta tämän jälkeen. Lähtökoh-

tana ajatellaan, että alueen muutostarpeet eivät kuitenkaan rajoitu vain resurssien uudelleen järjestelemiseen vaan kattavammat uudistukset kuuluvat asiaan.

Kohdeyrityksessä on pitkään ollut aikeita uusien kemikaalien käyttöönottoon. Nämä mahdollisesti käyttöön tulevat kemikaalit ovat jo pitkään olleet päätettyinä ja uuden layoutin resurssien määrittelemiseksi näiden uusien aineiden käyttöönotto päätettiin arvioida uudelleen. Kemikaalien käyttöönoton arvioinnissa huomioidaan pääasiassa käyttökustannukset eikä niinkään varsinaisesta käyttöönotosta aiheutuvia kustannuksia. Näistä arvioinneista muodostuu prosessin vaatimat resurssitarpeet, jotka pitää huomioida layout-suunnittelussa.

5.2 Tämän työn tavoitteet

Layout-suunnittelussa on tavoitteena kerätä nykyisestä prosessista ja sen toiminnoista mahdollisimman paljon tietoa, jotta uuden layoutin kanssa ei upottaisi samoihin sudenkuoppiin tai poisteta hyviksi koettuja piirteitä. Kerättävään tietoon kuuluvat pohjatiedot prosessin läpikäyvistä kappaleista ja niiden määrästä sekä materiaalivirrat sekä prosessiin että sen sisällä. Lisäksi prosessin oikeaoppinen kulku ja kaikki variaatiot tästä toteutuksesta pitää selvittää, jotta lopullinen layout-tukee prosessin sulavaa etenemistä ja mahdollisuuksien mukaan estää prosessin varioinnin. Myös kaikki jo tunnistetut alueen haasteet ja valmiit parannusehdotukset kerätään, jotta uusi layout varmasti parantaa alueen käyttäjäystävällisyyttä.

Kerätyn tiedon pohjalta selvitetään, miten eri toimintatavat ja sen variaatiot vaikuttavat esimerkiksi kemikaalien elinikiin, alueen siisteyteen ja turvallisuuteen. Lisäksi kerättyä tietoa käytetään nykytilan selvityksessä, riskianalyysin teossa sekä suuntaa antavana pohjana uusien layout-ehdotusten arviointiin. Loppujen lopuksi tavoitteena on muodostaa 2-3 käyttäjäystävällistä ja tehokasta layout-ehdotusta, jotka voidaan mitattavissa määrin myös perustella nykyistä tilannetta paremmiksi. Lisäksi ehdotuksia vertaillaan toistensa suhteen sekä esitetään tarvittavat infrastruktuurimuutokset ja resurssien siirrot nykytilasta ehdotetuksi layoutiksi.

Käyttäjäystävällisyydellä tarkoitetaan alueen toimivuutta paitsi prosessiin itseensä, myös muiden samassa tuotantotilassa toimivien huoltoprosessien tukemiseen. Käyttäjäystävällisyys näkyy siten, että alueen turvallisuus on huomioitu ja alueen resurssit tukevat alueen toimintaa riittäväillä tilavarauksilla työkaluille, kulkuväylille ja mahdollisille työjonoille. Lisäksi saman tuotantotilan eri prosessien jakamat resurssit asetetaan mahdollisuuksien mukaan kaikkien niitä tarvitsevien saataville.

Tehokkuuden tarkastelussa huomioidaan muun muassa, miten uuden layoutin käyttökustannukset suhteutuvat käytettäviin resursseihin ja eri toimintamalleihin kohdeyrityksen nykytilassa ja tulevaisuudessa. Tässä kustannustarkastelussa määrääviä tekijöitä ovat muun muassa käyttöön otettavat kemikaalit ja huuhtelun toteutustapa. Tehokkuutta

pyritään miettimään myös prosessin läpiviennissä siten, että työntekijältä vaadittavat liikkeet minimoidaan, mikä samalla lisää myös käyttömukavuutta. Layout-suunnittelun yhteydessä kyseenalaistetaan kaikki prosessin nykyiset työvaiheet ja etsitään kehitysmahdollisuuksia. Myös huoltotoimenpiteisiin kiinnitetään huomiota ja pyritään paitsi jättämään riittävät tilat huollon toteutukseen, myös parantamaan huollettavuutta ylipäättään.

5.3 Tärkeimmät päätökset suunnittelussa

Fyysisten layout-ehdotusten muodostamiseksi on ensin tehtävä muutamia päätöksiä alueen toimintojen osalta. Tietämättä käyttöön tulevia kemikaaleja ja niiden käyttötavan tuomia vaatimuksia on vaikea suunnitella toimiva ja tehokas layout. Suunnittelussa tärkeimmät päätökset ovat käyttöön tulevat kemikaalit ja kemikaalien huuhtelun toteutustapa. Eri valinnat näissä vaikuttavat paitsi prosessin käyttökustannuksiin, myös prosessin tilallisiin vaatimuksiin allaskokojen ja määrien muodossa. Tämän lisäksi, kuten aikaisemmin on jo esitetty, kemikaalisen puhdistuksen yhteydessä on keskityttävä kappaleiden huolelliseen jälkipuhdistamiseen. Tämän jälkipuhdistuksen toteuttamiseksi on pohdittava siihen tarvittavat resurssit ja niiden vaatimukset, jotta prosessin lopputuloksesta voi tulla tyydyttävä.

Kemiallisen puhdistusprosessin sisäisten asioiden lisäksi on huomioitava myös vaikutukset muihin yrityksen toimintoihin. Näistä tärkeimpänä otetaan esille jätteenkäsittely, joka käsittää kemikaali- ja huuhtelualtaiden tyhjennyksestä seuraavien kemikaalipitoisten jätteiden hävityksen. Kemikaalit ovat ympäristölle haitallisia ja niiden hävittäminen on tärkeä huomioida jo layout-suunnitteluvaiheessa. Erilaisilla jätteenkäsittelymenetelmillä on erilaiset vaikutukset jätteenkäsittelystä aiheutuviin kustannuksiin ja aiheen tarkastelussa tutkitaan myös eri vaihtoehtojen vaikutuksia prosessin tilallisiin vaatimuksiin. Esitetyt suunnitteluun tarvittavat päätökset ja tutkimustulokset on esitetty seuraavissa alaluvuissa.

5.3.1 Käytettävät kemikaalit

Yleisesti ottaen puhdistettavien kappaleiden muodot ovat haastavia puhdistaa mekaanisilla menetelmillä. Nestemäiset kemikaalit pääsevät helpommin kappaleiden joka paikkaan ja perusteellinen puhdistaminen on helpompaa. Kemikaalialtaiden käytöllä työntekijät saadaan vapautettua muiden työtehtävien pariin puhdistuksen ajaksi ja näin ollen joudutetaan tuotantoa. Tuotannon kannalta on myös hyvä, että puhdistustyötä saadaan tehtyä tarvittaessa myös työajan ulkopuolella, kun kemikaalit jatkavat altaisiin jätettyjen kappaleiden puhdistamista työntekijöiden työpäivän päätyttyäkin. Tästä on etua, jos vaadittavat puhdistusajat ovat pitkiä. Kemikaalien ongelmana on kuitenkin niiden sopimattomuus tietyille materiaaleille, minkä vuoksi mekaanisesta puhdistamisesta ei täysin päästä. Kemikaalit ovat myös ympäristön kannalta haasteellisia. Ympäristöriskien mi-

nimoimiseksi kemikaalit vaativat ympärilleen koulutetun henkilökunnan ja tietyt tilavaatimukset rikkotilanteiden varalta.

Kohdeyrityksen johto on nähnyt tuotantotoiminnassaan trendin kohti yhä suurempia huollettavia laitteita ja tämän myötä on syytä pohtia resurssien riittävyyttä myös tulevaisuudessa. Isommat laitteet tarkoittavat isompia pestäviä kappaleita ja kemiallisella puhdistusalueellakin olisi hyvä varautua tähän kehitykseen. Isommat kemikaalialtaat mahdollistavat kemiallisen puhdistusalueen tehokkaamman käytön myös isompien laitteiden kanssa. Isot altaat ovat eduksi myös tilanteessa, jossa tuotannon kuormitus on korkeampi, sillä isot altaat kaksinkertaistavat yhteen altaaseen mahtuvan korimäärän ja nopeuttavat prosessin läpimenoaikaa pienemmillä kappaleilla.

Kohdeyrityksellä on toisesta tuotantotilasta poistettuna kaksi täysin käyttökelpoista isoa kemikaaliallasta ja yksi iso huuhteluallas, jotka haluttaisiin ottaa käyttöön kemiallisella puhdistusalueella. Yksi avainkysymyksistä onkin, mitä aineita näissä isoissa altaissa on kannattavaa käyttää. Nykyisin alueella on käytössä aineet karstan ja kattilakiven poistoon yhteensä neljässä pienessä kemikaalialtaassa. Työntekijöiden ja työnjohdon haastattelujen yhteydessä selvisi, että kappaleista pyritään karstan ja kattilakiven lisäksi irtottamaan hyvin usein myös maalia ja ruostetta, vaikka käytettävissä olevat aineet eivät varsinaisesti ole näiden aineiden poistoon tarkoitettuja. Haastattelujen yhteydessä työntekijät olivat myös sitä mieltä, että isompi allaskoko ei lisää altaissa käytettävien kappaleiden lukumäärää kuin nimellisesti, ja että kaikki kemiallista puhdistusta vaativat kappaleet mahtuvat nykyisiinkin altaisiin. Työntekijöiden mielestä ainoastaan maalinpoistoaineen käyttöönotto lisäisi alueella käyvien kappaleiden määrää, ja tämäkin riippumatta käytettävästä allaskoosta. Kappaleiden perusteellinen maalinpoisto on nykyisin ulkoistettu alihankkijalle.

Karsta kiinnittyy palamisen yhteydessä kiinni kappaleiden pintaan ja tämän vuoksi sen poistaminen manuaalisin menetelmin on hankalaa. Nykytilanteessa kappaleiden karstanpoistoon on käytössä 3 kemikaaliallasta, joissa on kahta eri kemikaalia. Jo tämä tieto antaa viitteitä siitä, että karstanpoisto on jossain vaiheessa todettu yrityksessä kannattavamaksi toteuttaa kemikaalien avulla kuin puhtaasti manuaalisin menetelmin. Kahden eri kemikaalin käyttö karstanpoistoon on perusteltu sillä, että toinen aineista on koekäytössä, kun toista ainetta ei enää voida kemikaalin valmistuksen lopettamisen vuoksi hankkia lisää. Nykyinen järjestely, jossa karstanpoistoainetta on useassa altaassa, on kiistanalainen, koska altaiden lukumäärän kasvun myötä myös niiden tarvitsemien huoltotoimenpiteiden määrä kasvaa. Altaiden tarjoama kapasiteetti saataisiin toteutettua myös yhdellä isolla kemikaalialtaalla, jossa pääasiallinen karstanpoisto suoritetaan. Uusien kemikaalien koekäyttöä varten olisi erillinen pieni kemikaaliallas, jota voitaisiin myöhemmin käyttää myös prosessin laajentamiseen useampiin puhdistustoimintoihin tai jonkin toiminnon kapasiteetin kasvattamiseen.

Koska karstanpoistoa tarvitsevien osien määrää, saati niiden manuaaliseen puhdistamiseen kuluva aikaa on mahdotonta arvioida, karstanpoistoaineen vuosittaisia käyttökustannuksia verrataan kustannuksia vastaavaan miestyötuntimäärään laskukaavan

$$\frac{\text{kemikaalin hankintakustannukset} + \text{jätteenkäsittelykustannukset} + \text{huoltokustannukset}}{\text{miestyötunnin arvo}}$$

mukaisesti. Epäsuotuisimpiakin parametriarvoja käyttäen karstanpoistoaineen käyttökustannukset vastaavat kolmen työntekijän työryhmän noin kuukauden työtaakka. Realistisemmilla parametriarvoilla ja suotuisammalla huuhtelun toteutustavalla miestyötunnit vähenevät työryhmän noin kahden viikon työpanokseksi. Kummassakin tapauksessa kustannuksia vastaava miestuntimäärä on hyvin pieni verrattuna manuaalisen työn määrään, minkä vuoksi isoon altaalliseen karstanpoistoainetta on kannattavaa investoida.

Kattilakivenpoistoaine on nykyisistä kemiallisen puhdistuksen vaihtoehtoista ehdottomasti vähiten käytetty kemikaali. Haastattelujen aikana selvisi, ettei kemikaalin käyttäjiä ole kuin muutamia, samoin kuin altaassa puhdistettavia osia. Muihin poistettaviin aineisiin nähden kattilakiven poistaminen vaatii paljon miestyötunteja, vaikka laitekohdaiset osamäärät ovat pieniä. Kemikaalien käyttö ei välttämättä täysin poista manuaalista puhdistusta mutta vähentää sitä merkittävästi. Tämän vuoksi käytön taloudellisen kannattavuuden tarkastelussa huomioitiin suurimpien laitekohtaisten osien mekaaniseen puhdistukseen käytettävä aika sekä kemiallisen puhdistuksen kanssa, että ilman sitä. Kummassakin tilanteessa tarvittavaan mekaaniseen puhdistukseen käytetyt ajat on kerätty haastattelujen yhteydessä ja perustuvat asentajien kokemuksiin. Kemiallisen puhdistuksen lisäksi tarvittavan mekaanisen puhdistuksen aikana on käytetty kokemuksia puhdistustarpeesta koekäytössä olevan kattilankivenpoistoaineen kanssa. Laskukaavan

$$\frac{\text{kemikaalin hankintakustannukset} + \text{jätteenkäsittelykustannukset} + \text{huoltokustannukset} + \text{miestyötunnin arvo} * \sum(\text{jäännöstyö} * \text{laitetyypin kappalemäärä})}{\text{miestyötunnin arvo} * \sum(\text{mekaanisen puhdistuksen aika} * \text{laitetyypin kappalemäärä})}$$

perusteella kattilakivenpoistoaineen vuotuiset käyttökustannukset isossakin altaassa ovat 17-40 % pelkästään manuaalisin menetelmin tehdyn työn kustannuksista. Saatu tulos vaihtelee valitusta jätteenkäsittelyn ja huuhtelun toteutustavasta riippuen. Toimivan kattilakivenpoistoaineen myötä yrityksen johdossa nähdään potentiaalia myös muiden osien puhdistamiseen kemikaalialtaassa. Näihin muihin osiin lukeutuu yksi laskelmissa huomioiduista kappaleista, jonka kemiallinen puhdistus vaatisi joko isomman altaan käyttöönottoa tai kemikaalikierron kappaleen sisällä toteuttavan erikoistyökalun.

Kattilakiven poistaminen kemiallisen reaktion avulla on manuaalista puhdistusta kannattavampaa myös muista kuin kustannussyistä. Kattilakiven poisto kemiallisella reaktiolla on kappaleen itsensä kannalta monin verroin parempi vaihtoehto kuin mekaaninen puhdistus. Mekaaninen puhdistus kuluttaa kappaleiden pinnasta paitsi poistettavaa kattilakiveä, myös itse kappaletta pintamateriaalien muodossa. Pintamateriaalien kuluminen

aiheuttaa kappaleen eliniän lyhenemistä, mikä puolestaan voi johtaa vaarallisiinkin ongelmatilanteisiin laitteiden käyttöpaikoilla. Kun huollettavien laitteiden ikä jatkuvasti kasvaa, on entistä tärkeämpää keskittyä yksittäisten osien huoltotoimenpiteisiin ja huoltotoimien jälkeiseen laitteen elinikään, myös varaosien yhä heikomman saatavuuden vuoksi.

Haastatteluissa työntekijät ilmoittivat poistavansa kemikaalialtaissa kappaleista *ruostetta* lähes yhtä usein kuin karstaa. Tämän lisäksi ruostetta poistetaan kappaleista merkittävässä määrin mekaanisilla menetelmillä käsityönä. Isojen kemikaalialtaiden hankinnan yhteydessä kohdeyrityksellä on ollut aikomuksena ottaa käyttöön erillinen ruosteenpoistoaine, jonka käyttöönoton kannattavuutta tarkastellaan seuraavaksi. Koska mekaaniseen ruosteenpoistoon käytettyä aikaa ei ollut mahdollista laitekohtaisesti arvioida jo pelkästään laitteiden vaihtelevan kunnon vuoksi, altaan käyttökustannukset on arvioitu vertaamalla kemikaalihankintojen vuosittaisia kustannuksia samaa kustannuserää vastaavaan miestuntimäärään. Karstanpoistoaineen kohdalla tutuksi tulleesta laskukaavasta

$$\frac{\text{kemikaalin hankintakustannukset} + \text{jätteenkäsittelykustannukset} + \text{huoltokustannukset}}{\text{miestyötunnin arvo}}$$

saadaan selville vuosikustannuksia vastaavien miestyötuntien määrä.

Ruosteenpoistoaineen käyttökustannuksia tutkittiin usealla jätteenkäsittelymenetelmävalinnan ja huuhtelun toteutustavan yhdistelmällä. Epäsuotuisimmassakin tapauksessa ruosteenpoistoaineen käyttökustannukset vastaavat kolmen hengen työryhmän noin kolmen viikon työpanosta. Kustannuksia vastaavat miestyötunnit ovat erittäin vähäiset ruosteenpoiston tarpeisiin, joten erillisen ruosteenpoistokemikaalin hankinta voidaan kokea kannattavaksi. Suotuisimmilla käyttöparametrien arvoilla ruosteenpoistoaineen käyttökustannukset vastaavat työryhmän vain noin 1,5 viikon työrupeamaa.

Nykytilanteessa kappaleista poistetaan *maalialta* paitsi alihankkijalla, myös kemikaalialtaissa, vaikka kemikaalit eivät suoranaisesti olekaan maalinpoistoon tarkoitettuja. Maalinpoisto toimenpiteeseen tarkoittamattomissa aineissa on käytäntönä kyseenalainen, koska maalihiukkasten vaikutuksia kemikaaleihin ja niiden toimintaikään ja -kykyyn ei tunneta. Haastatteluissa maalinpoistoaltaan lisäys alueelle oli ainoa jokaisen haastateltavan tunnistama toimi, joka merkittävästi lisäisi kemiallisen puhdistusalueen käyttöä.

Maalinpoistoaineen käytön kannattavuus tutkitaan vertaamalla alihankkijoille menevien kappaleiden puhdistuksesta aiheutuvia kustannuksia maalinpoistoaineen käytön tuomiin kuluihin. Tilannetta verrataan paitsi nykytilaan, myös hypoteettiseen tilaan tulevaisuudessa, jossa maalinpoiston alihankintakustannukset ovat kaksinkertaistuneet nykytilaan nähden. Laskelmat huomioivat kemikaalialtaiden käyttökustannusten lisäksi sen, että joka tapauksessa osa kappaleista pitää edelleen toimittaa alihankkijalle maalinpoistoon, koska kappaleiden koot ja muodot ovat kemialliselle puhdistukselle tarpeet-

toman hankalia. Kemiallisesta puhdistuksesta ja alihankinnasta muodostuvia kokonaiskustannuksia verrataan pelkän alihankinnan kustannuksiin laskukaavan

$$\frac{\text{kemikaalin hankintakustannukset} + \text{jätteenkäsittelykustannukset} + \text{huoltokustannukset} + \sum(\text{alihankinnan jäännöskustannukset} * \text{laitetyyppi})}{\sum(\text{alihankintakustannukset} * \text{laitetyyppi})}$$

mukaisesti.

Tarkasteltaessa kustannuksia tilanteessa, jossa käytössä on iso kemikaaliallas, optimistisimmillakin kemikaalien vaihto- tai huoltovälin arvoilla käyttökustannukset ovat 120% suuremmat kuin nykyiset alihankinnan kustannukset. Tilanteessa, jossa alihankinnan kustannukset ovat kaksinkertaistuneet, ovat ison kemikaalialtaan käyttökustannukset vielä 10% suuremmat. Ison kemikaalialtaan vaihtoehtona voi olla ottaa käyttöön pienempi kemikaaliallas ja hyödyntää suurempien kappaleiden kanssa enemmän alihankintaa. Laskelmissa oletettiin, että pienen kemikaalialtaan käyttöönotolla voidaan säästää puolet alihankintakustannuksista. Tällaisella skenaariolla pienen kemikaalialtaan käyttökustannukset ovat nykyisiin alihankintakustannuksiin nähden noin 60% suuremmat, ja 5% suuremmat kaksinkertaistuneisiin alihankintakustannuksiin suhteutettuna. Näin ollen maalinpoistoaineen käyttöönotto ei ole kannattavaa, elleivät alihankintakustannukset nouse yli kaksinkertaisiksi nykyisiin kustannuksiin verrattuna.

Maalinpoistoaineen käyttöönoton kannattavuutta ei voida perustella pelkästään käyttökustannuksilla, sillä maalinpoistoaine on kaikista kemikaaleista ehdottomasti haitallisinta. Kun muista kemikaalialtaista haihtuu pelkästään vettä, maalinpoistoaineesta haihtuu terveydelle haitallisia orgaanisia yhdisteitä (VOC, Volatile Organic Compound), minkä vuoksi on erittäin tärkeää huolehtia riittävästä ilmanvaihdesta altaan ympäristössä. Vaikka VOC:ien haihtuminen kemikaalialtaasta voidaan estää erillisellä lisäaineella, tämä ei estä VOC:ien haihtumista altaasta nostettujen isojen kappaleiden pinnoilta. Tämän vuoksi maalinpoistoaineen käyttöönotto voi vaatia hyvinkin suuria kustannuksia ilmanvaihdon tehostukseen ja käyttöympäristön kehittämiseen, esimerkiksi altaan ympärille rakennettavan höyryjen kohdepoiston muodossa.

Ilmanvaihdollisten haasteiden lisäksi maalinpoistoaine on aineista ainoa, joka käytetään sellaisena kuin se toimitetaan, eikä sitä jatketa veteen kuten muita aineita. Kemikaali on itse asiassa hyvin vesiherkkää, jolloin liian suuri vesipitoisuus kemikaalin joukossa tuhoaa aineen ja sen maalinpoisto-ominaisuudet. Tämän vuoksi maalinpoistoaine pitäisi voida eristää ympäristöstään siten, että altaaseen ei kohdistuisi vesiroiskeita ja inhimillinen riski veden lisäykseen minimoituisi. Käytännössä tämä tarkoittaa altaan eristämistä vesilähteistä joko pelkällä sijainnillaan tai erillisillä fyysisillä esteillä.

Kemiallisella maalinpoistolla on suotuisatkin puolensa. Nykyisen alihankkijan maalinpoistomenetelmä ei sovi kaikille osille ja näiden osien maalinpoisto pitää tehdä joko itse manuaalisin menetelmin tai etsiä toisen maalinpoistomenetelmän tarjoava alihankkija.

Kappaleiden kemiallinen puhdistus vapauttaisi työntekijät toisiin tehtäviin ja nopeuttaisi prosessia huomattavasti. Lisäksi maalinpoiston saaminen puhtaasti alihankkijariippuvaisesta prosessista useamman vaihtoehdon piiriin on kohdeyritykselle strategisesti merkittävää. Koska layout-suunnittelijan roolissa on vaikea tehdä päätöstä strategisen arvon ja kustannusten välillä, layout-suunnittelussa ehdotelmät tehdään jättäen tilavaraus isollekin maalinpoistoaltaalle. Jos maalinpoisto päätetään toteuttaa jollain vaihtoehdoisella menetelmällä, voidaan tätä tilavarausta käyttää muiden puhdistustoimintojen kapasiteetin kasvattamiseen tai esimerkiksi työjonon varastopaikkana.

Edellä esitettyjen käyttökustannuslaskelmien ja pohdintojen perusteella layout-ehdotukset laaditaan käyttäen isoja kemikaalialtaita karstan- ja ruosteenpoistoaineille sekä pientä kemikaaliallasta uusien kemikaalien testausta varten. Kattilakivenpoistoaineen käyttö on kannattavaa myös isossa kemikaalialtaassa, mutta sen vähäisen käyttötarpeen vuoksi layout-ehdotuksiin esitetään kattilakivenpoistoaineelle pientä allasta. Pieneen altaaseen mahtumattomia kappaleita on erittäin vähän ja niiden puhdistukseen vaadittavien erityistyökalujen hankinnan kertakustannukset pieniä verrattuna ison kemikaalialtaan vuotuisiin kustannuksiin, minkä vuoksi pieni kemikaaliallas on riittävä. Lisäksi layout-ehdotuksiin jätetään tilavaraus isolle maalinpoistoaltaalle.

5.3.2 Huuhtelun toteutustapa

Kemikaalialtaista nostettujen kappaleiden huuhtelun toteutustavalla voidaan vaikuttaa prosessin kustannuksiin ja toimivuuteen. Käytännössä huuhtelu voidaan toteuttaa käyttämällä joko yhtä huuhteluallasta, jossa kappaleet käyvät riippumatta siitä, missä kemikaalialtaassa ne ovat ensin käyneet, tai jokaiselle kemikaalille osoitettua omaa huuhteluallasta. Huuhtelutavan kanssa rinnakkain tutkitaan jätteenkäsittelymenetelmien vaikutus kannattavimpaan toteutustapaan, koska jätteiden käsittelystrategiakin vaikuttaa siihen, kuinka usein huuhteluvedet vaihdetaan ja täten tästä vaihdosta aiheutuviin kustannuksiin.

Jokaiselle kemikaalille oman huuhtelualtaan käyttö mahdollistaisi huuhteluvesien takaisinkierätyksen kemikaalialtaisina. Tällä tavoin huuhteluvesi ei väkevöidy yhtä nopeasti, kun huuhtelussa käytetty vesi voidaan osittain korvata puhtaalla vedellä. Samalla kemikaalien käyttöikä pitenee, kun kappaleiden mukana huuhtelualtaaseen menneestä kemikaalista osa saadaan takaisin käyttöön, eikä kemikaalikylvyn kemikaalipitoisuus pienee yhtä nopeasti kuin ilman takaisinkierätystä. Kun huuhtelualtaisiin kertyy vain yhtä kemikaalia, huuhteluvedenkin tilaa voidaan seurata ja vesien vaihdot voidaan toteuttaa, kun ennalta määrätyt raja-arvot vaihtamiselle täyttyvät. Jätteenkäsittelyn toteutustavasta riippuu, kuinka alas tuo raja-arvo asetetaan ja täten määräytyy myös huuhteluvesien vaihtoväli. Useamman huuhtelualtaan käyttö vaatii kuitenkin huomattavasti enemmän tilaa kuin yhteisen huuhtelualtaan toteutustapa. Tämän lisäksi useampi huuhteluallas lisää huollettavien kohteiden määrää ja täten myös huoltokustannuksia. Useammasta

altaasta tulee myös huomattavasti enemmän jätettä, mikä vaikuttaa suoraan jätteenkäsittelyn menetelmäkohtaisiin kustannuksiin.

Yhteisen huuhtelualtaan käytöllä saadaan tilasäästöjen lisäksi säästettyä myös yrityksessä käytettävää vesimäärää, kun altaiden lukumäärä on pienempi. Altaan vesiä ei kuitenkaan voida kierrättää takaisin yhteenkään kemikaalialtaaseen, koska eri kemikaalien sekoittuminen altaissa heikentää niiden toimintakykyä ja täten lyhentää niiden elinikää. Riittävän pitkään jatkettuna takaisinkierrätyksen lopputuloksena kaikissa altaissa olisi lopulta samaa kemikaaliseosta. Takaisinkierrätyksen epuu aiheuttaa toisaalta hieman tiheämmän kemikaalien vaihtovälin, kun kappaleiden mukana poistuvia kemikaalimääriä ei voida mitenkään kompensoida. Koko kemikaalialtaallisen vaihtamisen sijasta ei ole mahdollista vain lisätä kemikaalia seokseen, koska tällöin ei voida taata oikeaa sekoitussuhdetta. Lisäksi yhden huuhtelualtaan toimintatavassa huuhteluveden tilaa on mahdotonta seurata, mikä puolestaan johtaa varmuuden vuoksi tehtävään melko tiheään vesien vaihtoväliin.

Otettiin maalinpoistoaine käyttöön tai ei, sen kanssa ei kannata käyttää huuhteluallasta, koska sen myötä riski veden siirtymiseen altaaseen inhimillisten erheiden kautta kasvaa. Tämän vuoksi maalinpoistoa ja sen kustannuksia ei ole otettu huuhtelutavan kannattavuustarkastelussa huomioon. Kumpaakin toimintatapaa arvioitiin laskukaavan

$$\text{kemikaalien hankintakustannukset} + \text{kemikaalien jätteenkäsittelykust.} \\ + \text{huuhteluvesien jätteenkäsittelykustannukset} + \text{huoltokustannukset}$$

pohjalta ja vuotuisia kustannuksia vertailtiin keskenään. Kustannuslaskelmien parametrien arvot vaihtelevat riippuen kemikaalien vaihtoväleistä, huuhteluvesien vaihtoväleistä ja valitun jätteenkäsittelymenetelmän kustannuksista. Kemikaalien ja huuhteluvesien vaihto-operaatiot vaativat huoltohenkilökunnan osallistamista ja laskelma huomioi tästä aiheutuvat huoltokustannukset. Laskelmat tehtiin eri jätteenkäsittelymenetelmien, huuhtelutapojen ja kemikaalien vaihtovälikehityksen variaatioilla. Taulukko 2 kokoaa laskelmien päätulokset yhteen.

Taulukko 2. *Huuhtelun toteutustapojen, jätteenkäsittelymenetelmän ja huuhteluvesien vaihtovälien vaikutus käyttökustannuksiin.*

Toimintatapa	Kustannukset %				
1 huuhteluallas, sellaisenaan jätteenkäsittelyyn	100	100	100	100	100
omat altaat, sellaisenaan jätteenkäsittelyyn, sama vaihtoväli	86,1	102,6	102,1	122,6	117,4
omat altaat, sellaisenaan jätteenkäsittelyyn, eri vaihtoväli	68,6	81,7	76,3	88,8	83,7
1 huuhteluallas, tiivisteenä jätteenkäsittelyyn	91,5	89,8	87,4	83,6	83,6
omat altaat, tiivisteenä jätteenkäsittelyyn, sama vaihtoväli	73,3	87,3	83,2	97,9	92,8
omat altaat, tiivisteenä jätteenkäsittelyyn, eri vaihtoväli	60,0	71,5	63,7	72,4	67,2
Kemikaalin vaihtoväli 1 huuhteluallas\omat huuhtelualtaat	2\1	$\frac{3}{2}1$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}\frac{1}{4}$

Taulukon 2 kukin sarake esittää toteutustavan kustannuksia kemikaalien eri vaihtovälien kehityksellä, joka on esitetty taulukon alimmalla rivillä. Vaihtovälien kehityksen esitysmuoto kertoo kummankin toteutustavan kemikaalien vaihtovälin vaihtokertoina vuodessa erottaen eri toteutustavat toisistaan kenoviivalla. Laskelmissa kemikaalien vaihtovälien eroista on voitu tehdä vain valistuneita arvioita, jotka ovat perustuneet sekä kemikaalitoimittajan tarjoamiin tietoihin, että nykyisen toimintatavan dokumentointiin. Huuhteluvesien vaihtovälit ja määrät on arvioitu nykyisiin menetelmiin ja määriin pohjautuen. Kuten taulukosta 2 voidaan huomata, saman jätteenkäsittelymenetelmän kanssa huuhtelun toteutus useamman huuhtelualtaan kanssa on järjestäen kannattavampaa kuin yhden yhteisen huuhtelualtaan kanssa. Tämä johtuu pääasiassa huuhteluvesien ja osin myös kemikaalien vaihtovälin pitenemisestä. Vaihtovälin piteneminen näkyy suoraan kemikaalijätteen määrän vähenemisenä ja siitä johtuvana kustannusten pienenemisenä. Taulukosta voidaan huomata myös, miten eri jätteenkäsittelyn vaihtoehdot vaikuttavat kustannuksiin.

Riippumatta käytettävästä jätteenkäsittelymenetelmästä laskelmien tilanteissa usean huuhtelualtaan käytöllä voidaan säästää vähintään 10% kustannuksista verrattuna yhden huuhtelualtaan toteutustapaan. Laskelmien tulokset ovat kuitenkin lähinnä suuntaa antavia, koska huuhtelun toteutustavan vaikutuksista ei ole käytännön tuomaa tarkempaa informaatiota. Laskelmien mukaan useamman huuhtelualtaan käyttö tuo kustannussäästöjä, joten layout-ehdotukset muodostetaan osoittaen jokaiselle kemikaalialtaalle sitä vastaava huuhteluallas.

5.3.3 Jätteenkäsittely

Kemikaalien ja huuhtelualtaiden vesien vaihdon yhteydessä kemikaalipitoiset jätteet täytyy käsitellä vastuullisesti, jotta ne voidaan hävittää asianmukaisesti. Vaihtoehtoina on joko suorittaa kemikaaleille asianmukaiset käsittelyt ensin itse ja hävittää harmittomaksi tehty seos lopuksi viemäriverkkoon, tai lähettää kemikaalijäte sen käsittelyyn erikoistuneille tahoille. Nämä tahot laskuttavat jätteenkäsittelystä jätteen tyypin ja massan mukaan. Kemikaalijätteiden, joiden sisältö tunnetaan, käsittelykulut ovat pienemmät kuin epämääräisen kemikaaliseoksen. Edellisessä luvussa esitettyyn huuhtelun toteutustavan kannattavuusarviointiin vaikuttaa kumpikin jätteenkäsittelyn hinnoittelun parametri, kun yhden huuhtelualtaan toteutustavassa jätteiden käsittelykustannukset ovat suuremmat, mutta määrä kerralla pienempi verrattuna useamman huuhtelualtaan tilanteeseen.

Jätteenkäsittelymenetelmien vaihtoehtojen kartoituksen yhteydessä vierailtiin kohdeyrityksen toisen osaston kemiallisella puhdistusalueella. Vierailulla selvisi, että kohdeyrityksen toisella osastolla pienemmän, mutta kemikaalivalikoimaltaan laajemman puhdistusalueen huuhteluvedet on päästetty säännöllisesti viemäriin. Kemikaalien viemäriin päästön mahdollisuus on täysin riippuvainen käytetyistä kemikaaleista ja niiden ympäristöominaisuuksista. Layout-suunnittelun kohteena olevan kemiallisen puhdistusalueen

kemikaaleista valtaosan voisi käyttöturvatieotteidensa perusteella laskea hyväksyttävästi käsiteltyinä viemäriverkkoon. Tätä vaihtoehtoa ei muun muassa eettisistä syistä edes harkita, koska kohdeyrityksen tämän työn käsittelemällä osastolla ei ole kokemusta vaadittavasta kemikaalien käsittelystä eikä riskiä puutteellisesta käsittelystä haluta ottaa. Tämän vuoksi jätteiden itse käsittelyn vaihtoehtoa ei edes tarkastella huuhtelun toteutustavan kannattavuusvertailun yhteydessä.

Jäljelle jää siis vaihtoehto lähettää kemikaalijätteet niiden käsittelyyn erikoistuneelle taholle. Yrityksen sisäiseen jätteenkäsittelyyn voidaan kuitenkin yhä toteuttaa muutamaakin eri toimintatapaa. Yksi harkintaa vaativa kysymys on, miten jätteet lähetetään käsittelyyn. Vaihtoehtoina on toimia kuten nyt ja lähettää kaikki kemikaalit omissa astioissaan jätteenkäsittelyyn, tai laittaa kaikki kemikaalit samaan astiaan toistensa kanssa sekaisin. Laitettaessa kemikaalit omiin astioihinsa tiedetään mitä aineita ja kemikaaleja missäkin astiassa on ja jätteenkäsittelykustannukset ovat painoyksikköä kohden pienemmät kuin, jos kaikki kemikaalit lähetettäisiin yhdessä astiassa jatkokäsittelyihin. Laitettaessa kaikki aineet sekaisin, saadaan kuitenkin vähennettyä kuljetukseen menevien yksiköiden määrää ja potentiaalisesti säästettyä paitsi kuljetuskustannuksissa, myös astiavuokrissa sekä vapautettua omia varastotiloja muuhun käyttöön. Näitä potentiaalisia säästöjä ei kuitenkaan tämän työn puitteissa tutkita.

Jätteenkäsittelyn hinnan lisäksi jätteen määrä on merkittävä tekijä jätteenkäsittelykustannuksiin. Jätteen määrään vaikuttamisessa on käytännössä vaihtoehtoina lähettää altaiden sisällöt sellaisenaan jätteenkäsittelyyn, poistaa kemikaaliseoksesta erillisellä laitteistolla suurin osa vedestä ja lähettää jäänyt kemikaalitiiviste jätteenkäsittelyyn, tai jokin välimuoto näiden kahden vaihtoehdon väliltä. Koska kemikaaliseoksen pitoisuus ei vaikuta jätteenkäsittelykustannuksiin, veden poistaminen seoksesta vähentäisi jätteen määrää ja täten suoraan vähentäisi myös jätteenkäsittelyn kustannuksia. Lisäksi kuljetuksia jätteen käsittelevälle taholle voitaisiin mahdollisesti järjestää harvemmin, mikä puolestaan alentaisi myös kuljetuskustannuksia. Läheinen yritys on lisännyt omaan jätteenkäsittelytoimintaansa erillisen vettä haihduttavan evaporaattorin ja raportoinut odottavansa säästöjä nimenomaan jätemäärien ja kuljetusten määrän vähenemisen johdosta.

Kuten jo luvussa 5.3.2 mainittiin, loppujen lopuksi jätteenkäsittelytavasta riippumatta on kannattavinta käyttää jokaiselle kemikaalialtaalle omaa huuhteluallasta. Jätteenkäsittelykustannusten pienentämisellä voidaan lähinnä vaikuttaa eri menetelmien väliseen kannattavuuden eroon. Ero sekä eri jätteenkäsittelytapojen, että huuhtelun toteutustapojen välillä kasvaa, jos myös kuljetuskustannukset otetaan laskelmissa huomioon. Laskelmienkin pohjalta on selvää, että yrityksen valitsema jätteenkäsittelystrategia vaikuttaa merkittävästi puhdistusalueen vuotuisiin käyttökustannuksiin ja täten lopulliseen kannattavuuteen.

5.3.4 Prosessin vaatimat resurssit

Kemialliseen puhdistusprosessiin eivät pelkät kemikaali- ja huuhtelualtaat riitä, vaan niiden lisäksi kappaleen puhdistukseen tarvitaan myös muita resursseja. Kemikaalialtaiden käyttöön tarvitaan myös työkalut, joilla kappaleet voidaan laskea altaaseen. Käytännössä tämä tarkoittaa nosturia ja jonkinlaisia koreja tai nostoalustoja. Lisäksi kemialliseen puhdistusprosessiin kuuluu tärkeänä osana kappaleiden perusteellinen jälkipuhdistus ja huuhtelu, johon pitää kiinnittää erityistä huomiota.

Altaasta nostamisen jälkeen kappaleista on hyvin nopeasti pestävä painepesurilla viimeisetkin kemikaalijäämät pois, koska kemikaalit aiheuttavat ongelmia siirtyessään prosessista tarkastus- ja kokoonpanovaiheeseen. Kemikaalijäämien poistaminen on tärkeää myös siksi, etteivät kemikaalit pilaisi puhdistusaineita pesukoneessa, jossa kappale viimeiseksi pestään. Kemikaalit poistavat kappaleiden pinnalta kaiken, mukaan lukien hyvin ohuen oksidikerroksen, joka estää kappaleita ruostumasta. Tämän vuoksi kappaleet pitäisi saada ruostesuojattua hyvin nopeasti, jo muutamien minuuttien kuluessa. Nykyisin ruostesuojaus ja kappaleiden viimeinen puhdistus on toteutettu pesemällä kappale kemikaalialtaissa käytön jälkeen kammiopesukoneessa, jonka pesuaineen joukossa on korroosionestoainetta. Nykyinen käytäntö kappaleiden jälkipuhdistukseen ja ruostesuojaukseen minimoi työntekijän suorittamien toimenpiteiden määrän eikä käytäntöä ole tämän vuoksi syytä muuttaa. Tästä syystä sekä painepesupaikan että kammiopesukoneen pitäisi olla kemiallisen puhdistusalueen välittömässä yhteydessä.

Kammiopesukoneen asettaminen alueelle tai sen välittömään läheisyyteen tukee alueen toimintoja paitsi jälkipuhdistuksessa ja ruostesuojauksessa, myös kappaleiden esipuhdistuksessa. Alueella on näistä nimenomaisista syistä nykytilassakin pieni pesukone. Kun käyttöön kuitenkin otetaan isommat altaat, jotka mahdollistavat isompien kappaleiden käsittelyn ja suuremman kapasiteetin, on tätä tukemaan hyvä olla nykyistä isompi pesukone. Tällä tavoin kemiallinen puhdistusalue pysyy eri resurssien kapasiteettiansa suhteen tasapainossa. Tämän lisäksi isomman pesukoneen tuominen alueelle yksinkertaistaa tuotantotilojen välistä materiaalivirtaa.

Tehtyjen haastattelujen yhteydessä valtaosa vastaajista nimesi pesukoneet töiden etene- mistä rajoittaviksi ja ylimääräistä odotusta aiheuttaviksi resursseiksi. Kemiallisen puhdistusalueen tukemisen lisäksi uudella isolla pesukoneella voidaan lievittää muiden pesukoneiden kuormitusta, kun kemialliselle puhdistusalueelle tulevien kappaleiden kaikki puhdistustoimet voidaan tehdä samalla alueella. Pesukonetta voidaan tietenkin käyttää myös muille osille kuin kemialliseen puhdistukseen tuleville osille, jolloin pesukoneiden kuormituksia saadaan kiireellisimpinä aikoina helposti tasattua.

Nykytilanteen kartoituksen yhteydessä alueen käyttäjät ovat hyvin vaihtelevasti pesseet kappaleita painepesurilla, vaikka kohdeyrityksen johdon mielestä se nimenomaan on prosessin tärkein vaihe. Tähän on ollut syynä paitsi puutteellinen tieto prosessin oikea-

oppisesta läpiviennistä, myös laiskuus, kun painepesupaikalle päästäkseen on pitänyt siirtää kappaleet pumppukärryillä erilliseen painepesukoppiin ja matkalla poistua aluetta rajaavan ritilälattian päältä. Kun painepesualue liitetään saumattomammin kemialliseen puhdistusalueeseen, painepesu tulee helpommin osaksi prosessia.

Painepesupaikka vaatii erittäin paljon tilaa, kun kappaletta pitää voida pestä sen jokaiselta sivulta. Jotta painepesua voi ylipäättään tehdä, on työntekijälle varattava vähintään 1,5 metrin tila kappaleen pestävästä sivusta. Tällöinkään työskentely ei ole missään määrin mukavaa, kun kaikki liikkeet ovat ahtaita ja pesuria on pidettävä hyvin lähellä kehoa. Tämän vuoksi todellinen tilantarve on vähintään 2 metriä kappaleen sivusta. Jotta kappaletta voisi pestä painepesurilla sen jokaiselta sivulta, pitäisi noin puolet nykyisestä kemiallisesta puhdistusalueesta varata pelkästään painepesulle. Koska tila on yksi suunnittelua rajaavista tekijöistä, painepesuun tarvittavia suuntia on vähennettävä. Tämä on mahdollista toteuttaa joko kääntelemällä kappaletta siten, että jokainen sivu vuoron perään osoittaa tiettyyn suuntaan, tai tekemällä painepesupaikan alustasta pyörivä. Pyörivä alusta vähentää työntekijän liikkumista pesupaikan ympärillä sekä kappaleen käsittelyä erilaisten asennonvaihdosten tarpeen vähentyessä. Pyörivän alustan avulla saadaan pienennettyä painepesupaikan vaatimaa tilantarvetta ja kuitenkin pestyä kappaleet joka suunnasta ilman kappaleiden jatkuvaa käsittelyä.

Toinen tapa vähentää painepesupaikan vaatimaa tilaa on yhdistää se ison pesukoneen täyttöpisteen kanssa. Tällöin voidaan hyödyntää paitsi ison pesukoneen valmista alustaa hieman modifioituna, myös ison pesukoneen ilmanvaihtoa. Painepesupaikkakin vaatii kovan ilman poiston, jotta työympäristö pysyy käyttökelpoisena. Yhdistettäessä painepesupaikka isoon pesukoneeseen saadaan säästettyä tilan lisäksi ilmastointijärjestelyissä. Lisäksi mahdollistetaan kaikkien prosessin vaiheiden parempi saavutettavuus nosturilla ja vähennetään kappaleiden käsittelyä, kun painepesun jälkeinen kappaleiden siirto pesukoneeseen yksinkertaistuu.

Kappaleiden upottamiseksi kemikaalialtaisiin täytyy niiden nostoon olla sopivat resurssit. Pienien ja keskikokoisten kappaleiden kanssa on hyvä käyttää nostokoreja, kun taas isommat kappaleet voidaan nostaa niihin erikseen kiinnitettävillä nostokoukuilla. Korien kanssa olisi hyvä, että nekin olisivat allaskohtaisia. Allaskohtaisilla koreilla voidaan säästää materiaaleissa, koska eri altailla on eri materiaalivaatimuksia eikä kaikkia koreja tarvitse tehdä vaativimman aineen mukaan. Lisäksi allaskohtaisten korien avulla kemikaalien sekoittuminen keskenään eliminoituu, kun koreihin jäävät kemikaalit eivät kulkeudu eri altaiden välillä. Toisaalta allaskohtaisten korien kanssa kasvaa riski siihen, että niitä joka tapauksessa käytetään joka altaassa, jolloin eri korien eri materiaalivalinnoilla on seurauksia, kun jokin kori voi esimerkiksi liueta kappaleiden ympäriltä pois.

Koreille olisi hyvä olla myös erillinen säilytyspaikka, jotta alue pysyisi mahdollisimman siistinä. Tällöin voidaan välttää korien kertymistä hätäsuihkun, silmähuuhteiden, säätöpaneelien tai muiden saavutettavaksi tarkoitettujen resurssien eteen. Korien määrä voi-

daan optimoida allaskohtaisten kapasiteettien mukaan ja niiden säilytys voidaan toteuttaa kahdessa kerroksessa. Tässäkin tilanteessa ylemmän kerroksen korien kiinnityslenkit ovat korkealla ja lyhyemmät käyttäjät saattavat toivoa jonkinlaista koroketta käyttääkseen koreja. Näin ollen kahta useamman kerroksen käyttäminen ei ole mielekästä.

Alueella on ollut käytössä vain pienet nosturit, ja vaikka alueen yli on jo rakennettuna isokin nosturi, ei tätä isoa nosturia ole kovinkaan helposti voinut alueella käyttää, koska on ollut riskinä nosturien törmääminen toistensa kanssa. Koska kemiallisessa puhdistuksessa käyvien kappaleiden ja ylipäättään siellä suoritettavien nostojen määrä on melko pieni, voidaan nämä pienet, isojen kappaleiden kanssa alimittaiset nosturit, purkaa ja jakaa isompi nosturi koko tuotantotilan kanssa. Kemiallisen puhdistusalueen kanssa samassa tuotantotilassa olevilla toiminnoilla on omat pienemmät puominosturinsa, joiden kanssa siellä selvittää suurimmasta osasta nostoja ja tarvittaessa vastaavanlaista nosturia voi harkita tueksi myös kemialliselle puhdistusalueelle. Muillekin tuotantotiloille kaavaillut uudelleenresursoinnit voivat vielä muuttaa samassa tuotantotilassa nykyisin olevat toiminnot nosturia nykyistä vähemmän kuormittaviin toimintoihin.

5.4 Alueen kapasiteetti

Kemiallisen puhdistusprosessin kuormitus vaihtelee paljon riippuen sekä laitteen huoltoprosessin vaiheesta, että eri laitteiden keskinäisestä aikataulutuksesta. Kemiallisen puhdistuksen eri kemikaaleille on myös eri kapasiteetin tarve, sillä esimerkiksi kattilakiven poistoa tarvitsee huomattavasti pienempi osuus kappaleista kuin karstan- ja ruosteenpoistoa. Vaikka nämä variaatiot ja tarpeet on tunnistettu, kohdeyrityksessä ei osattu määritellä kemialliselta puhdistukselta vaadittavaa kapasiteettia. Tämän vuoksi on tutkittu, millaiseen kapasiteettiin pystytään eri resursseilla sen sijaan, että olisi tutkittu, mitä resursseja vaaditaan tietyn tason saavuttamiseen, vaikka jälkimmäinen lähestymistapa on yleisesti paremmaksi tunnustettu. Lopuksi on arvioitu, mikä kapasiteetin taso voisi olla kohdeyrityksen toiminnalle riittävä.

Prosessin kapasiteetin tutkinnassa kapasiteetin yksikkönä käytetään prosessin läpäisevien töiden määrää vuorokautta kohden. Prosessin nykyresurssit tukevat neljän työn valmistumista vuorokaudessa riippumatta töiden uittoaajoista ja tätä on pidetty varsin riittävänä kapasiteettina, sillä työjonoja ei juurikaan muodostu. Osatekijä kapasiteetin riittävyyteen on toisaalta ollut se, että töitä asetellaan toistensa kanssa samanaikaisesti altaisiin, jos jo käytössä olleissa koreissa on niille riittävästi tilaa. Kohdeyrityksessä on ollut tavoitteena lisätä kemiallista puhdistusta, jotta työntekijöitä sitovasta manuaalisesta puhdistamisesta voitaisiin vähentää entisestään. Tämän vuoksi alueen kapasiteettia yritetään parantaa myös muutoin kuin isojen kemikaalialtaiden tarjoamalla isompien kappaleiden käsittelyn mahdollistamisella.

Kapasiteetin kasvatuksessa prosessialtaiden määrä on pidettävä maltillisena tilallisten rajoitteiden vuoksi, minkä vuoksi kappaleiden lyhyempi uittoaika muodostuu kapasitee-

tin kasvatuksen avaintekijäksi. Kapasiteettia on tutkittu eri skenaarioilla ja oletuksella, että uittoaika saadaan lyhennettyä kemikaalitoimittajien esittämään 2-4 tunnin aikaikkunaan. Uittoajan lyhennykseen on keinoja kemikaalipitoisuuksien kasvattamisesta, nestevirtauksen muodostamiseen ja lämpötilan nostoon. Valitettavasti eri muutokset vaikuttavat kemiallisen puhdistuksen lopputulokseen hieman eri tavoin ja optimaalisten olojen etsintä on kesken. Uittoaikaan ollaan kuitenkin jo onnistuttu vaikuttamaan lyhentävästi ja useammat testit ovat antaneet viitteitä uittoaajan kehityspotentialista yhä lyhyemmäksi.

Koska lopullisista uittoaajoista ei ole tietoa, kapasiteetin laskennassa joudutaan turvautumaan pitkälti hypoteeseihin ja valistuneisiin arvioihin. Osa arvioista, esimerkiksi pesukoneiden käyntiajat ja työntekijöiden vaatimat ajat eri toimenpiteiden suorittamiseen on kerätty henkilöstöhaastattelujen yhteydessä. Kapasiteetin määrittämisessä käytetyt aika-arvot ovat haastatteluissa ilmenneen variaation painotettu keskiarvo. Aika-arvojen painotus on tehty mieluummin ylä- kuin alakanttiin, koska jotkin työvaiheet eivät välttämättä tule valmiiksi kerralla ja on hyvä, että prosessissa on jonkin verran joustoa eri kuntoisten kappaleiden puhdistukselle.

Käytetyille skenaarioille on yhteistä, että töiden järjestys on mahdollisimman yhtenäinen, kussakin kemikaalialtaassa on kerrallaan vain yksi työ ja töitä ei sekoiteta toistensa kanssa. Lisäksi työpäivän päättyessä pesukoneiden pitäisi olla tyhjiä. Pesukoneiden viimeinen tyhjennys ei näy liite C:n työntekijä-resurssi -kuvaajissa työpäivän pituuden esitystavan vuoksi. Yksinkertaistuksen nimissä alueen kapasiteetin mallinnukseen on käytetty 8 tunnin aikaikkunaa, vaikka kohdeyrityksessä työaika on pitempi ja työajan liukumat mahdollistavat alueen käytön esitetyn aikaikkunan kummankin puolella. Näiden liukumien valossa pesukoneiden tyhjennys voidaan ajatella tapahtuvaksi saman päivän puolella, vaikka se ei kuvissa näy. Yksinkertaistuksen vuoksi töistä ajatellaan myös tulevan kerralla valmiita, vaikka todellisuudessa joudutaan jonkin verran toistamaan kemiallisen puhdistusprosessin eri vaiheita. Tällainen toisto on huomioitu kapasiteettimallinnuksessa käyttämällä työntekijän suorittamiin eri toimintoihin keskimääräistä pidempää aikaa: jokaista 10 minuutin työsuoritusta kohden työntekijältä on varattu 15 minuuttia työajasta. Lisäksi pesukoneilla on esitetty käytettäväksi niiden yksinkertaisia pesuohjelmia. Näin ollen kapasiteetin laskennassa ei ole oltu turhan optimistisia.

Skenaariot muodostettiin eri alkuoletuksilla ja saman alkuoletuksen skenaarioita muokattiin resurssien saatavuuden puitteissa, kunnes resurssien kuormitus asettui tasapainoon. Kapasiteettitutkimuksen skenaariot on esitetty taulukossa 3 yhdessä maksimikapasiteetin ja skenaarion pullonkaulan kanssa. Työn liite C sisältää lisäksi varsinaiset työntekijä-resurssi -kuvaajat. Taulukossa skenaarioon oletetaan 2 työntekijää ja 3 kemikaaliallasta, ellei toisin mainita.

Taulukko 3. *Tuotannon kapasiteetti ja rajoittava tekijä eri skenaarioilla.*

#	Skenaario	Kapasiteetti	Pullonkaula
1	kaikki pesut alueella, 1 työntekijä, yhdistetty painepesupaikka ja pesukone	4	työntekijä
2	kaikki pesut alueella, yhdistetty painepesupaikka ja iso pesukone	6	yhdistetty painepesupaikka ja iso pesukone
3	kaikki pesut alueella, erillinen painepesupaikka ja iso pesukone	7	tasapainoinen kuormitus
4	esipesu muualla, 1 työntekijä, yhdistetty painepesupaikka ja iso pesukone	6	työntekijä
5	esipesu muualla, yhdistetty painepesupaikka ja iso pesukone	7	kemikaalialtaat, yhdistetty painepesupaikka ja pesukone
6	esipesu muualla, erillinen painepesupaikka ja iso pesukone, 4 allasta	9	tasapainoinen kuormitus

Kuten taulukosta 3 voidaan huomata, alueen kapasiteetti vaihtelee voimakkaasti sen mukaan, mistä vaiheesta alueen prosessi alkaa. Jos kappaleet tulevat valmiiksi puhdistettuina prosessin piiriin, saavutettava kapasiteetti on samoilla resursseilla suurempi kuin tilanteen, jossa kaikki kappaleen pesut toteutetaan alueella. Esimerkiksi skenaariot 1 ja 4 osoittavat, että yhden työntekijän voimin esipestyillä kappaleilla saavutetaan kuuden työn kapasiteetti, kun pesemättömien kappaleiden kanssa jäädään neljään työhön. Taulukosta voidaan myös huomata, että riippumatta tästä prosessin alkuhetkestä, työntekijä on prosessin ensimmäinen rajoittava tekijä. Jos skenaarion 1 mukaisesti kaikki kappaleiden pesut tehdään alueella, yhden työntekijän voimin alueen kapasiteetti ei muutu nykyisestä neljästä työstä, vaikka uittoaajat saataisiinkin lyhyemmiksi. Kun henkilöresursseja lisätään, on seuraava pullonkaula yhdistetty painepesupaikka ja iso pesukone. Laskelmien perusteella skenaariot 3 ja 6 esittävät, että alueen resurssien tasapainoiseen kuormitukseen vaadittaisiin erillinen painepesupaikka, sekä valmiiksi esipestyjen töiden kohdalla myös yksi kemikaaliallas enemmän.

Kuormitustutkimusten myötä työssä ollaan päästy pisteeseen, jossa kompromissien teko muuttuu pakolliseksi. Vaikka taulukossa 3 esitetyt skenaarioiden 3 ja 6 mukaan tehdyt kapasiteetilaskelmat osoittavat, että prosessin tasapainoisen kuormituksen kannalta suotuisin vaihtoehto on pitää painepesupaikka ja iso pesukone erillään, layout-ehdotuksissa ne kuitenkin yhdistetään. Tämän taustalla tärkeimpänä on tilan säästäminen, minkä lisäksi taustalla painavat ilmastointijärjestelyjen helpottuminen sekä edut käsittelyjen vähenemisestä painepesun ja pesukoneeseen asettelun välillä. Painepesun integroiminen ison pesukoneen kanssa tarkoittaa, ettei pesukonetta voi käyttää painepesun aikana tai päinvastoin. Kun kuitenkin suurin osa käsiteltävistä kappaleista on pienemmän pesukoneeseen mahtuvia, on hyväksyttävää, että ison pesukoneen pesukapasiteettia ei hyödynnetä aivan koko potentiaalillaan.

Toinen alueen kapasiteettiin vaikuttava tekijä on prosessin aloituspisteen määräytyminen. Tässäkin tilanteessa on parempi suosia kappaleiden kaikkien pesujen suorittamista kemiallisen puhdistuksen alueella silläkin seurauksella, että alueen kapasiteetti pienee. Kappaleiden pesuun alueella on useita perusteluita. Vaikka kappaleet olisi pesty ennen alueelle tuomista, ne on useimmiten varmuuden vuoksi ruostesuojattu erillisellä korroosionestoaineella siltä varalta, että ne joutuvat odottamaan pidemmän aikaa ennen käsittelyyn pääsyä. Koska kemikaalialtaisiin saa mennä vain puhtaita, rasvattomia kappaleita, on suositeltavaa pestä kappaleet ainakin kertaalleen ennen kemikaalialtaisiin laskemista.

Vaikka kappaleiden esipesu puhdistusalueella rajoittaa alueen kapasiteettia, se helpottaa paitsi alueen itsensä, myös koko tuotannon ohjausta ja hallintaa. Tällöin kappaleiden pesu saadaan ajoitettua prosessissa sopivaan kohtaan eikä tämä ajoitus aiheuta päänvai-vaa muissa tuotantotiloissa tai tuotannon vaiheissa. Maksimikapasiteetin saavuttamiseksi töiden järjestyksellä on merkitystä. Koska painepesun mahdollisuus on sidoksissa isoon pesukoneeseen, ei pieneenkään pesukoneeseen meneviä kappaleita voida pestä painepesurilla, jos iso pesukone on käynnissä. Tämän vuoksi pieneen pesukoneeseen menevät kappaleet tulisikin lähes poikkeuksetta käsitellä ennen isoon koneeseen meneviä. Tällaisen ohjaus- ja ajoitustarkkuuden venyttäminen toisiin tuotantotiloihin asti on erittäin hankalaa. Esipesemällä kappaleet vasta kemiallisella puhdistusalueella voidaan prosessin kuormitusta hallita helpommin, kun tilannetta, jossa toisista tuotantotiloista tulisi samanaikaisesti välittömästi toimenpiteitä vaativia kappaleita, ei muodostu. Samalla voidaan ohjata ja hallita prosessista poistuvien töiden ajoitusta siten, ettei prosessia seuraaviinkaan huollon vaiheisiin muodostu hallitsemattomia työjonoja.

Esitetyllä laskentatavalla kapasiteetin lisäys nykytilanteesta on täysin riippuvainen siitä, miten uittoaikojen lyhentäminen onnistuu. Osa uittoaajan lyhentämiseksi tehtyjen kokeiden tuloksista on ollut lupaavia, joten on odotettavissa, että joidenkin aineiden uittoaajat voidaan lyhentää kemikaalitoimittajan arvioimaan 2-3 tuntiin. Suorittamalla kappaleiden kaikki pesut kemiallisella puhdistusalueella sekä integroimalla iso pesukone ja painepesupaikka toisiinsa alueen kapasiteetti voi nousta nykytilasta 50% esitetyllä kapasiteetin laskentatavalla. Tämä ei kuitenkaan ole koko totuus, sillä todellisuudessa isot kemikaalialtaat sallivat useamman työn samanaikaisen käsittelyn sekä nykyistä suuremman kapasiteetin allastilavuuden kautta. Pelkästään fyysisten resurssien tarjoaman kapasiteetin kasvun pitäisi olla riittävä kohdeyrityksen toiminnoille, ainakin niin kauan, kun käytössä ei ole maalinpoistoa. Henkilöstöhaastatteluissa maalinpoiston ajateltiin jopa kaksinkertaistavan alueella käytettävien kappaleiden määrän, minkä vuoksi alueen kapasiteetti voi hyvinkin nopeasti loppua kesken, jos maalinpoisto otetaan käyttöön. Tästäkin syystä tämän työn puitteissa tehdyt layout-ehdotukset tehdään jättämällä maalinpoistoaltaalle vain tilavaraus.

6. LAYOUT-EHDOTUKSET

Edellisten lukujen analyysien ja selvitysten perusteella layout-ehdotukset on suunniteltu käyttäen kahta isoa ja kahta pientä kemikaaliallasta sekä kullekin vastaavaa huuhteluallasta. Lisäksi ehdotuksissa on sekä pieni että iso pesukone ja ison pesukoneen täyttölukulle integroituna toimiva painepesupaikka. Lisäksi layout-ehdotuksiin on jätetty tilavaraus isolle maalinpoistoaltaalle, vaikka tämän työn selvityksen puitteissa sen käyttöönoton kannattavuus onkin asetettu kyseenalaiseksi. Jos maalinpoistoallasta ei oteta käyttöön, tätä tilavarausta voidaan hyödyntää työjonon, prosessikorien tai huoltotarvikkeiden säilytystilana.

Tässä luvussa esitellään fyysisten layout-ehdotusten muodostuminen sekä vertaillaan eri ehdotusten etuja ja heikkouksia toisiinsa nähden. Lisäksi esitetään tarvittavat muutostyöt ja niiden keskinäinen toteutusjärjestys siirtymiseksi nykytilasta kunkin layout-ehdotuksen tilaan. Luvussa esitellään myös ohjausmenetelmäehdotus prosessin töiden aikataulutukseen.

6.1 Ehdotuksien arviointi

Jotta parhaimman kompromissin layout-ehdotukset tunnistetaan, layout-ehdotuksia on voitava vertailla toistensa suhteen. Tähän arviointiin on sovellettu Mutherin [7, s. 10.3 – 10.11] esittämää osatekijäanalyysia, jossa layout-ehdotuksia on arvioitu sen mukaan, miten hyvin ne täyttävät tiettyjä käytettävyyteen, turvallisuuteen, huollettavuuteen ja käyttöönotettavuuteen liittyviä arviointikriteerejä. Liite D listaa nämä arviointikriteerit ja niiden painoarvot. Kriteerin arvotuksen asteikko on kolmiportainen, ja painoarvon suuruus on verrannollinen kriteerin tärkeyteen. Mitä suurempi painoarvo kriteerillä on, sitä tärkeämmäksi kohdeyrityksessä on koettu kriteerin esittämä layoutin piirre.

Layout-ehdotusten muodostus on toteutettu hahmottelemalla ensin ruutupaperille suurin piirtein mittakaavassa olevia, karkeita layout-kuvia pelkästään isoilla resursseilla ja niiden tilavarauksilla. Kutakin hahmotelmaa on tämän jälkeen tarkasteltu edellä mainituin arviointikriteerein. Kunkin kriteerin kohdalla layout-hahmotelma pisteytetään kolmiportaisella menetelmällä sen mukaan, miten hyvin se näyttäisi täyttävän kriteerin ehdot. Lopulta kriteerien pisteet lasketaan yhteen ja tämän summan suuruutta käytetään hahmotelmien keskinäisen paremmuuden määrittämisessä. Mitä suurempi on hahmotelman saama kokonaispistemäärä, sitä paremmaksi se voidaan mieltää. Korkeimmat pisteet saaneet hahmotelmat ovat lopuksi mallinnettu tietokoneella 3D-ohjelmaa käyttäen varsinaisiksi layout-ehdotuksiksi.

Ehdotuksien 3D-mallinnuksen yhteydessä on verifioitu arvioinnin paikkansapitävyys ja suoritettu ehdotuksen uudelleenarviointi samoin kriteerein kuin aikaisemmin. Taulukko 4 esittää koosteet ehdotuksien ja niitä vastaavien ruutupaperipiirroksien arvioinneista. Taulukon tuloksista voidaan huomata, että uuden arvioinnin myötä ehdotuksien eri kategorioista saamat pisteet sekä ehdotuksien keskinäinen paremmuusjärjestys muuttuvat. Muutokset arviointituloksessa ovat seurausta tilallisista rajoitteista ja vaadittavien infrastruktuurimuutosten laajuuksista. Esimerkiksi ainoastaan ehdotus C yltää sekä ruutupaperihahmotelmassa että 3D-mallissa 1,5 metrin käytäväleveyksiin, kun muissa ehdotuksissa käytäväleveydet jäävät vähän vajaiksi. Arviointikriteerien painokerrointen vuoksi tällaiset pienet erot aiheuttavat yllättävän suuria heittelyitä arvioinnin loppupisteiden suuruudessa.

Taulukko 4. Ehdotelmien piirrosten ja mallien arviointitulokset.

	Ehdotelma A		Ehdotelma B		Ehdotelma C	
	Piirros	Malli	Piirros	Malli	Piirros	Malli
Käytettävyys	520	456	468	416	490	514
Turvallisuus	130	160	142	160	130	160
Huollettavuus	122	116	116	116	116	116
Infrastruktuuri ja tilavaatimukset	144	78	158	90	144	82
Yhteensä	916	810	884	782	880	872

Kuten taulukosta 4 voidaan huomata, uudelleenarvioinnissa kaikki ehdotukset saivat keskenään yhtä suuret pisteet turvallisuuden ja huollettavuuden kategorioista. Lisäksi taulukosta voidaan huomata, että ruutupaperipiirrosten arvioinneissa on oltu liian optimistisia infrastruktuurimuutosten ja tilavaatimusten suhteen ja jokaisen ehdotuksen pisteet tässä kategoriassa ovat huomattavasti vastaavia piirroksia heikompia. Tämä yksityiskohta perustelee tehokkaasti 3D-mallien käyttöä layout-suunnittelussa.

6.2 Riskianalyysi

Jokaiselle ehdotukselle on tehty liite B:n esittelemää pohjaa käyttäen riskianalyysit. Analyysien perusteella voidaan todeta, että layoutien poikkeavista piirteistä huolimatta alueen riskit ovat käytännössä samat eikä resurssien erilainen keskinäinen asettelu juurikaan vaikuta riskeihin. Analyysissa on huomioitu käyttäjien toiminnasta ja laitteiden rikkoutumisesta johtuvia riskitilanteita. Nykyiseen layoutiin verrattuna layout-ehdotuksissa on enemmän tilaa työntekijöiden liikkumiselle ja työjonon säilytykselle, minkä vuoksi nykyisen layoutin ahtaudesta johtuvat kompastumisriskit eliminoituivat. Vaikka alueen riskitilanteissa käytettiin jopa liioitellun suuria työntekijälle aiheutuvia haittoja, alueelle ei saatu huomattavaa korkeampaa riskitasoa.

Kemiallisen puhdistusalueen suurimmat riskit johtuvat kemikaalien roiskumisesta joko laskettaessa kappaleita kemikaalialtaisiin, nostettaessa kappaleita pois altaista tai pestä-

essä kemikaaleja kappaleiden pinnoilta painepesurilla. Kaikki nämä riskitilanteet ovat sellaisia, joihin voidaan vaikuttaa ainoastaan työntekijän toimilla ja niiden aiheuttamilta haitoilta voidaan välttää käyttämällä asianmukaisia suojaimia. Jotta suojaimia myös käytetään, on niiden oltava helposti saavutettavissa. Tämä tarkoittaa silmähuuhteiden, hätäsuihkun ja erillisen suojainkaapin asettamista puhdistusalueelle tai sen välittömään läheisyyteen. Suojainten puutteellisen käytön varalta alueelle asetellaan myös silmähuuhteet ja hätäsuihku helposti ja nopeasti saavutettaviin paikkoihin.

Layout-ehdotuksissa on huoltotyön helpottamiseksi sijoitettu jätteenkäsittelyyn tarkoitettut kontit puhdistusalueen lattian alle. Tämä tarkoittaa, että lattiaan on pakko tehdä aukeavat luukut, jotta näihin lattianalaisiin kontteihin ja muihin resursseihin päästään käsiiksi. Näin ollen huoltotöiden aikana on riski, että työntekijä kompastuu avonaiseen luukkuun tai huolimattomuuttaan putoaa luukun läpi. Tällaisten riskitilanteiden todennäköisyys saadaan pienennettyä entisestään sillä, että lattian aukkojen reunat korostetaan huomiovärein ja alueelle tuodaan esimerkiksi jokin huoltotöistä ilmoittava kyltti.

Laiterikkotilanteista vaarallisimpia ovat nostolaitteiden hajoamiset, koska tällöin riskinä on jäädä taakan alle puristuksiin. Työntekijöiden ammattitaito ja kohdeyrityksen nykyinenkin käytäntö, jossa nostettujen taakkojen alle ei mennä, pienentävät tämän riskin vaaroja alle analyysissa lasketun riskitason. Muita työntekijälle haitallisia laiterikkotilanteita ovat esimerkiksi lattian tai kemikaalialtaan hajoaminen. Tämän tyylisten rikkotilanteiden tapahtumatodennäköisyys on kuitenkin niin pieni, että alueen turvallisuus ei merkittävästi muutu niiden vaikutuksesta.

Kemiallisen puhdistusalueen turvallisuuteen vaikuttaa paljon se, kuinka sotkuiseksi tai täydeksi alueen tilat muodostuvat. Esimerkiksi alueelle hyvissä ajoin tuotu työjono vie merkittävästi lattiatilaa tehden tilasta ahtaan ja mahdollistaen erilaiset kompastumisriskit. Työjonon muodostumisen estämiseksi ja alueen töiden ajoitukseksi ja järjestämiseksi kemialliseen puhdistusprosessiin esitetään luvussa 6.7 ohjausmenetelmä, jonka käyttö vähentää ylimääräisten töiden määrää prosessin alueelta ja täten helpottaa siisteyden ylläpitoa.

6.3 Layout-ehdotusten yhteiset ominaisuudet

Layout-ehdotuksissa on resurssien erilaisesta asettelusta huolimatta useita samoja ominaisuuksia. Jokaisessa layout-ehdotuksessa esimerkiksi iso pesukone on upotettuna lattiaan täyttölavansa alapintaan asti. Tämä ominaisuus tukee ison pesukoneen ja painepesupaikan yhdistämistä. Painepesun työergonomia parantuu, kun pesuria ei alemmas laskeutuneiden kappaleiden vuoksi tarvitse kannatella niin korkealla. Myös kappaleiden käsittely helpottuu, kun etenkin isojen kappaleiden kohdalla esimerkiksi nostokoukkujen irrottamiseksi ei tarvitse kurotella. Ison pesukoneen upotuksella mahdollistetaan myös riittävä ilmatila painepestävän kappaleen ja pesupaikan alaisen lattiapinnan välissä, jotta lattiasta ei voi roiskua likaa takaisin kappaleeseen. Isolle pesukoneelle kaivetun

upotuksen lattia toteutetaan ritilälattiana painepesuvesien ja -roiskeiden menemiseksi nykyisen painepesukopin viemäriiliitäntään, joka erotetaan alueen turva-altaasta esimerkiksi betoniseinämällä.

Isojen kemikaalialtaiden myötä nykyisen turva-altaan pinta-ala ei ole riittävä, jotta jokainen allas saataisiin mahtumaan sen sisään. Jo tämän vuoksi turva-allasta on ehdotuksissa laajennettu. Laajennuksen yhteydessä turva-allasta syvennetään niin paljon, että sinne saadaan huoltotyön helpottamiseksi asetettua jätteenkäsittelykontteja. Kun nykyisin altaat joudutaan tyhjentämään pumppaamalla, layout-ehdotuksissa niiden tyhjennys voidaan suorittaa avaamalla niiden tyhjennyshanat ja johtamalla kemikaalit altaita alempana oleviin kontteihin. Säilytystilojen säästämisen ja kompastumisriskien pienentämisen vuoksi lattian alle asetetaan myös isoimpien kappaleiden kattilakivenpoistoon tarvittavat erikoistyykalut tarvittavin liitännöin. Erikoistyykalujen käytettävyyden vuoksi turva-altaaseen ei voida asettaa jätteenkäsittelykontteja jokaisen altaan välittömään läheisyyteen.

Turva-allas peitetään umpinaisella lattialla, jossa on tarvittavissa kohdissa avattavat luukut. Tällä tavoin mahdollistetaan paitsi lattianalaisten resurssien käytettävyys, myös turva-altaan pitäminen puhtaana, kun sinne ei voi valua nesteitä, toisin kuin nykyisen ritilälattian kanssa. Turva-altaan puhtaana pysymisen lisäksi umpinaisen lattian etuna ritilälattiaan nähden on myös sen käyttömukavuus pumppukärryjen kanssa ja sen pidettävyys helposti siistinä pelkästään vesiletkulla huuhtelemalla.

Sekä turva-altaan, että kemikaali- ja huuhtelualtaiden korokkeiden pinnat tehdään kalteviksi. Altaiden korokkeiden pintojen kaltevuudella varmistetaan, että altaiden rikkoutessa kemikaalit valuvat turva-altaaseen. Turva-altaan pohjan kaltevuudella voidaan puolestaan edesauttaa altaan tyhjentämistä, kun kaikki turva-altaassa olevat nesteet valuvat pääkäytävän puoleiselle sivulle. Turva-altaan pohjan kaadot tehdään tähän suuntaan nimenomaan tyhjennyksen helpottamiseksi, kun tyhjennyspumppua ei tarvitse toimittaa alueen reunaa kauemmaksi.

Vaikka layout-ehdotusten kuvissa ei sitä näekään, jokaiseen layout-ehdotukseen kuuluu myös erilliset roiskesuojaseinät, joiden tarkoituksena on rajata painepesusta aiheutuvien roiskeiden vaikutusalue. Roiskesuojaseinien merkitys korostuu, jos alueella otetaan käyttöön maalinpoistoaine, joka on erittäin vesiherkkää. Vaikka maalinpoistoainetta ei otettaisi käyttöön, roiskesuojaseinien asennusta suositellaan, jotta alueen siisteyttä on helpompi ylläpitää. Seinät asennetaan liukukiskoille ison pesukoneen suuntaisesti siten, että avaamattomina ne ovat pesukoneen etuseinän tasalla. Käyttökytkinten puoleisella kyljellä roiskesuojaseinä on asennettava ison pesukoneen upotusalueen reunalle, jotta käyttökytkimet pysyvät käytettävissä ja lattianalaiset toimilaitteet huollettavissa. Vastakkaisella puolella isoa pesukonetta roiskesuojaseinät voidaan asentaa välittömästi pesukoneen kyljen viereen. Kun kummallekin kyljelle asennetaan kaksi ison pesukoneen

syvyistä roiskesuojaseinää, käytön aikana ne muodostavat noin kuusi metrisen käytävämäisen suojan painepesupaikan sivuille eivätkä muulloin vie juurikaan tilaa.

Lisäksi jokaisessa layout-ehdotuksessa kemikaalialtaiden kaikki ohjaustoiminnot on eriytetty altaiden kyljistä ja viety erillisiin ohjauskeskuksiin. Tämä tarkoittaa, että altaiden lämpötilojen säädön lisäksi altaiden kansien avauskytkimet on siirretty ohjauskeskuksiin. Näin ollen työntekijät eivät voi olla niin lähellä aukeavia kansia, että voisivat vahingossa hengittää aukeavien kansien välistä pelmahtavia höyryjä. Tällä toimenpiteellä lisätään alueen työntekijöiden turvallisuutta, alueen tehokkuuden kustannuksella, sillä altaiden kansien avauskytkimien siirtäminen kauemmas altaista pakottaa työntekijät kävelemään alueella hieman enemmän. Toisaalta alueen tehokkuuden lisäämiseksi kemikaali- ja huuhtelualtaiden täyttö vedellä ja huuhteluvesien takaisinkierätyks kemikaalialtaaseen toteutetaan kiinteän putkituksen avulla. Tällä tavoin voidaan näiden operaatioiden osalta poistaa käytöstä hitaaksi ja vaivalloiseksi mielletty vesiletku.

6.4 Layout-ehdotukset

Työn puitteissa tehtiin kolme erilaista layout-ehdotusta. Kuvassa 7 esitetty ehdotus A on parhaimmat arviointipisteet saaneesta ruutupiirroshahmotelmasta kehittynyt vaihtoehto. Tässä vaihtoehdossa pienet kemikaali- (1) ja huuhtelualtaat (2) on asetettu vuorottelemaan alueen takaseinällä. Tämän lisäksi alueen takaseinälle on jätetty maalinpoistoaltaan tilavaraus (5). Isot kemikaalialtaat (3) on asetettu osien kunnon tarkastusta vastaavalle seinälle ja altaiden lyhyitä päätyjä vasten on asetettu niitä vastaavat huuhtelualtaat (4). Tällainen altaiden asettelu edesauttaa Leanin mukaista kappaleiden virtausta kohti seuraavaa prosessin vaihetta. Lisäksi altaiden asettelu evää ilmastointiputkien tarpeen useammalla kuin kahdella alueen sivulla ja mahdollistaa nykyisten isojen ilmastointiputkien käyttämisen kemikaalialtaiden ilmanvaihdon rankana. Kaikki kemikaalialtaat on asennettu lattiatasoon nähden pieneen syvennykseen, mutta turva-altaan (7) pohjaan nähden korokkeelle.



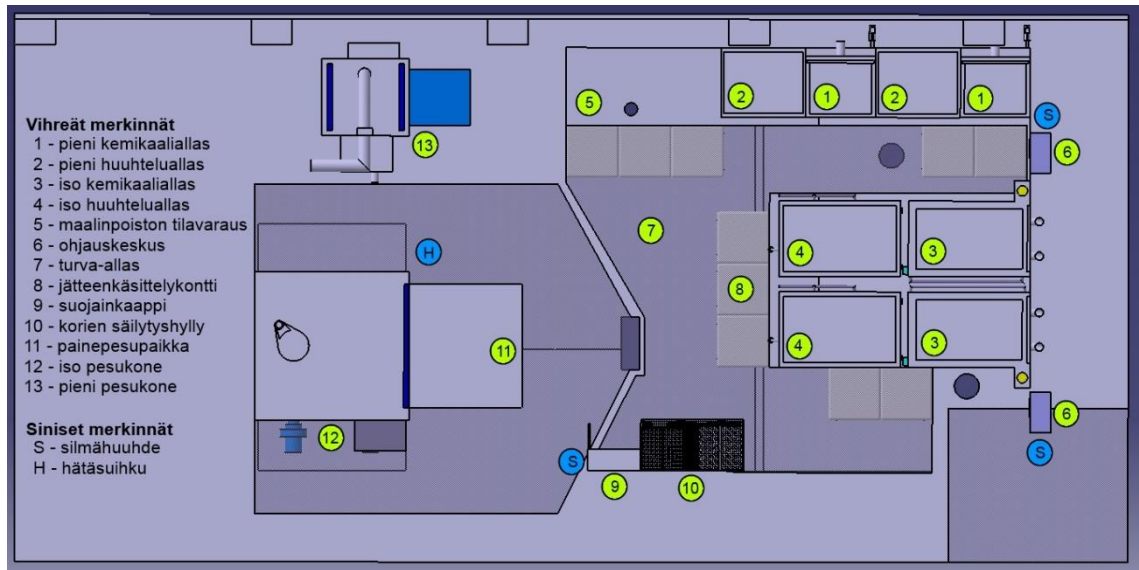
Kuva 7. Ehdotus A.

Kuten kuvasta 7 nähdään, kemikaalialtaat muodostavat alueelle kaksi käytävää, joiden kunnontarkastuksen puoleisiin päihin on asetettu altaiden ohjauskeskukset (6) ja keskusten kylkiin silmähuuhteet (S). Ohjauskeskusten asettelussa on huomioitu käyttömukavuus ja turvallisuus, kun alueen työntekijän on siirryttävä altaan viereltä hieman kauemmaksi, mutta kävelymatka ei ole pitkä. Ainoastaan, jos maalinpoistoallas otetaan käyttöön, ja senkin ohjaustoiminnot viedään käytävän päässä olevalle ohjauskeskukselle, kävelymatka ohjauskeskukselle muuttuu epämiellyttävän pitkäksi.

Kuvassa 7 nähdään myös turva-altaan pohjalle lasketut jätteenkäsittelykontit (8) ja reunamalle sijoitettu prosessikorien säilytyshylly (10) sekä suojainkaappi (9). Suojainkaappi on sijoitettu siten, että se tukee mahdollisimman hyvin suojainten saavutettavuutta erityisesti painepesupaikalta (11) katsottuna. Painepesun ollessa roiskeita aiheuttava toimenpide, on myös painepesupaikan välittömään läheisyyteen tuotu yksi silmähuuhde sekä hätäsuihku (H). Hätäsuihkua varten tarvittavat vesiputket voidaan asentaa ison pesukoneen (12) katolle, jolloin putkien veto on helppoa ja hätäsuihku on poissa normaalin prosessin etenemisen jaloista. Lisäksi pieni pesukone (13) on tuotu lähelle painepesupaikkaa, jotta kappaleiden siirtomatka näiden kahden resurssin välillä olisi mahdollisimman lyhyt.

Kuvan 8 esittämä ehdotus B on kemikaali- ja huuhtelualtaiden, ohjauskeskusten ja maalinpoiston tilavarauksen suhteen identtinen ehdotuksen A kanssa. Ehdotus B on kuitenkin muodostettu minimi-tilavaatimuksen periaatteella ja on tästä seuranneen kompaktiutensa vuoksi valittu mukaan työn ehdotuksiin. Kuten kuvasta 8 huomataan iso (12) ja pieni pesukone (13) on käännetty aukeamaan kemiallisen puhdistusalueen suuntaan ja täten sulkevat puhdistusalueen tuotantotilan suuntaan. Tällainen pesukoneiden asettelu toisaalta estää kulun puhdistusalueelle suoraan tuotantotilan suunnasta, mutta jättää pienen pesukoneen kaikki täyttösuunnat käyttöön. Näin ollen tilanteessa, jossa kappale

pitäisi ainoastaan pestä pienessä pesukoneessa, työntekijällä ei ole tarvetta mennä varsinaiselle puhdistusalueelle ollenkaan.



Kuva 8. Ehdotus B.

Suojainkaapin (9) ja korien säilytyshyllyn (10) sijainnit on kuvan 8 ehdotuksessa B suunniteltu siten, että korit ja suojaimet olisivat ensimmäisenä työntekijän saatavilla hänen saapuessaan alueelle. Tämän tehostamiseksi suojainkaappi voisi olla korihyllyn tapaan käytettävissä kummaltakin puolelta, eli kaapin takaseinä voitaisiin joko poistaa tai korvata etupuolen mukaisilla ovilla.

Ehdotuksessa C pienet kemikaalialtaat (1) ja niiden huuhteluallaat (2) on kuvan 9 mukaisesti pidetty suunnilleen nykyisillä paikoillaan osien kunnon tarkastuspisteen vastaisella seinällä. Tällöin vaadittavat muutokset ilmastoinnin putkitukseen ovat erittäin pieniä ja nykyisiä putkia saadaan hyödynnetty mahdollisimman tehokkaasti. Isot kemikaalialtaat (3) on asetettu tilan takaseinää vasten siten, että pienien ja isojen kemikaalialtaiden väliin jää käytävä. Vastaavasti isojen kemikaalialtaiden toisella puolella on käytävä ennen maalinpoistoaltaalle jätettyä tilavarausta (5). Nämä käytävät mahdollistavat kaikkien kemikaalialtaiden käytön altaiden yli kurottelelta. Edellisten ehdotusten tapaan isot huuhteluallaat (4) on asennettu isojen kemikaalialtaiden lyhyttä sivua vasten.



Kuva 9. Ehdotus C.

Kuvan 9 ehdotuksessa turva-altaaseen (7) on muiden ehdotusten tavoin upotettu jätteenkäsittelykontteja (8). Konttien tai lattian alle upotettavien erikoistyökalujen käytön vuoksi pienien ja isojen kemikaalialtaiden välissä olevan käytävän viemäriiliitäntä täytyy joko tukkia tai siirtää hieman sivummalle. Miten isojen ja pienien kemikaalialtaiden välisen käytävän alainen tila käytetään, on riippuvainen siitä, mihin tarkoitukseen mitäänkin allasta käytetään. Kuvan 9 ehdotuksessa C esimerkiksi on ajateltu, että ohjauskeskusta (6) lähempänä olevaa pientä allasta käytetään kattilakiven poistoon ja täten tämän altaan edustalle asennetaan mainitut erikoistyökalut. Edellisten ehdotusten mukaisesti turva-altaan pääkäytävän puoleiselle reunustalle on suunniteltu asennettavaksi suojainkaappi (9) ja korien säilytysshylly (10), jotta nämä resurssit tukisivat parhaiten suojainten käyttöä ja töiden valmistelua.

6.5 Ehdotusten vertailu

Layout-ehdotukset ovat keskenään erilaisia, minkä vuoksi niillä on toistensa suhteen erilaisia ominaisuuksia. Ehdotukset A ja C ovat tilavaatimuksiltaan hyvin samanlaisia, mutta niissä kemikaalialtaat on aseteltu eri tavoin. Ehdotuksessa B kemikaalialtaat on aseteltu samoin kuin ehdotuksessa A, mutta ehdotuksen tilantarve on huomattavasti pienempi kuin kummankaan muun ehdotuksen. Näiden ilmeisten erojen vuoksi eri ehdotuksilla on erilaisia hyviä ja huonoja puolia toistensa suhteen. Layout-ehdotusten ilmeiset erot näkyvät ehdotuksen arvioinnissa, mutta näiden lisäksi ehdotusten välillä on myös muita hienovaraisempia eroavaisuuksia. Muutamia arvioinneissakin näkyneitä eroja on listattu alla olevaan taulukkoon 5.

Taulukko 5. Ehdotelmien välisiä eroavaisuuksia arviointikriteereihin nähden.

#	Kriteeri	Pisteytys		
		A	B	C
	Käytettävyys			
1	Energiatehokas, kävely ja siirtymät kerrallaan ≤ 10 m	12	30	12
8	Virheellisen käytön riski minimoitu: altaita vastaavista huuhtelualtaista ei voi erehtyä	20	20	50
10	Alueella säilytystilaa työjonolle	10	4	4
12	Leveät kulkuväylät (leveys $\geq 1,5$ m)	20	20	50
16	Alueelta on kulkuväylä tuotantotilan perälle	50	20	50
17	Alueen pesukoneet ovat saavutettavissa myös alueen ulkopuolelta	50	20	50
18	Pesukoneen kaikki täyttösuunnat ovat käytettävissä	0	30	0
	Infrastruktuuri ja tilavaatimukset			
29	Laajennuspakko pituussuuntaan (tuotantotilan perälle) < 5 m	0	50	0
32	Voidaan hyödyntää nykyisiä ilmastointiputkia (tarkastuspisteen sivulla 2/4)	0	0	4

Ehdotus B on ehdottomasti kompaktimpi kuin kaksi muuta ehdotusta. Tämä kompaktius on tilanpuutteen kanssa painivan kohdeyrityksen kannalta otollista, koska puhdistusprosessi ei vie kovin paljoa nykyistä enempää tilaa ja tuotantotilaan jää enemmän tilaa huoltotoiminnan muille prosesseille. Ehdotus B on lisäksi ainoa, jossa voidaan edelleen hyödyntää pienen pesukoneen kahta täyttösuuntaa. Täten ehdotus tukee hyvin muun tuotantotilan tarvetta pestä pieniä kappaleita. Ison pesukoneen saavutettavuus on hankalampaa, koska sen käyttämiseksi muusta tuotantotilasta on kierrettävä kemialliselle puhdistusalueelle, mutta pesukoneen sijoittaminen aivan alueen reunalle mahdollistaa sen, ettei alueella tarvitse kulkea kovin pitkää matkaa. Ehdotuksessa B kemiallisen puhdistuksen alue on tarvittaessa helpompi eristää muusta tuotantotilasta, kun eristämiseen riittää pääkäytävän sivulla yksi liukuovista muodostettu seinä. Ison pesukoneen taitse on mahdollista rakentaa lyhyt, kiinteä seinä, jossa on pienen pesukoneen täyttöluukun kohdalla sopiva reikä. Alueen eristäminen itseasiassa helpottaa kemiallista puhdistusprosessia, kun painepesun roiskeiden rajaamiseen täytyy lisäksi vetää vain yksi roiskesuoja-seinä.

Kompaktiutensa vuoksi ehdotuksessa B ei ole yhtä paljon tilaa työjonon säilytykselle verrattuna kahteen muuhun ehdotukseen. Jos maalinpoistoallas otetaan käyttöön sille tehdyn tilavarauksen paikalla, ehdotuksesta poistuu käytännössä kaikki säilytystila työjonolle. Tämän lisäksi alueen laajentaminen ilman mittavia muutostöitä ei ole mahdollista. Ainoa tapa laajentaa alueen toimintoja on ottaa kemikaalien koekäyttöön tarkoitettu allas prosessin käyttöön ja suorittaa kemikaalien koekäyttö jossain muualla. Näiden lisäksi ehdotuksessa B pienen pesukoneen täyttöluukku on helposti saavutettavissa vain, jos maalinpoistoallasta ei oteta käyttöön. Tämän jälkeen täyttöluukku on hieman huonommin saavutettavissa muihin ehdotuksiin verrattuna, mutta edelleen paremmin saavutettavissa kuin nykytilassa. Muut ehdotukset tukevat paremmin pesukoneiden saavutettavuutta alueen muiden toimintojen käyttöön.

Ehdotus C poikkeaa muista ehdotuksista kemikaalialtaiden asettelun osalta ja on tilavaatimuksiltaan hieman ehdotusta A suurempi, vaikka mahdollisuus täysin samaankin tilavaatimukseen oli olemassa. Ehdotuksen C tilavaatimus on suurempi, koska siihen on suunniteltu arviointikriteereissä esitetty minimikäytäväleveys kemikaalialtaiden väliin. Ehdotuksissa A ja B näihin käytäväveyksiin ei päästä tilallisten rajoitteiden vuoksi. Tämän lisäksi ehdotus C hyödyntää parhaiten nykytilan infrastruktuuria, kun osien kunnon tarkastuspisteen viereisellä seinällä voidaan hyödyntää nykyisiä ilmastointiputkia lähes sellaisenaan. Tämän vuoksi ehdotuksen C mukainen layout voi olla muutosvaiheessakin pidempään käytössä ja muutoksen kustannukset ovat hieman pienemmät. Tämän lisäksi ehdotuksen C laajennettavuus on paras, kun samaa altaiden asettelun systematiikkaa voidaan jatkaa valamalla maalinpoistoaltaalle jätetyn tilavarauksen viereen koroke esimerkiksi huuhtelualtaalle. Samanlaisella toimenpiteellä voidaan laajentaa myös ehdotusta A isojen huuhtelualtaiden päädyistä, mutta tällöin joudutaan tätä laajennusta käyttämään eri tavalla kuin aikaisempia altaita ja ilmastoinnin järjestäminen laajennukselle on hankalampaa.

Ehdotuksen C esittämällä alueella työjonolle sopiva tila on muita ehdotuksia huonommin sijoiteltu ja todennäköisemmin sujuvan prosessin läpiviennin tiellä. Ehdotuksen käytävät ja kulkureitit eivät myöskään ole suurimmat mahdolliset, minkä vuoksi muiden ehdotusten tehokkuus on vähän suurempi, kun työntekijöiden ei tarvitse kävellä aivan yhtä paljon. Kemikaalialtaiden välisten käytävien suunnista johtuen myös hätäsuihkun asennus on hieman muita vaihtoehtoja haastavampaa, kun vesiputket on vedettävä lattianalaisina alueen pääkäytävän puoleiseen reunaan, jotta hätäsuihku olisi mahdollisimman nopeasti saavutettavissa alueen joka kolkasta. Hätäsuihkun sijoituspaikan avoimuus myös houkuttelee työjonon ja muiden tavaroiden säilyttämiseen hätäsuihkun läheisyydessä, minkä vuoksi hätäsuihkun saavutettavuus saattaa kärsiä.

Tuotannon kannalta paras layout saadaan, kun kemiallisen puhdistusprosessin arviointi ja valinta yhdistetään muun tuotantotilan suunnittelun kanssa. Muun tuotantotilan tilantarve ja käyttötarkoitus määräävät kemialliselle puhdistukselle vapautettavissa olevan tilan määrän ja muun tilan toimintojen tukemiseksi vaadittavien piirteiden tarpeellisuuden. Esimerkiksi tilan muutto varastoksi asettaa puhdistusalueen resursseille erilaisia vaatimuksia kuin laitehuollon toiminnot. Erilaisilla laitehuollon toiminnoillakin on merkitys siihen, miten kemiallisen puhdistusalueen on tuettava toimintoja. Esimerkiksi vain pienien kappaleiden käsittely tuotantotilan muissa toiminnoissa vaatii pienen pesukoneen saavutettavuutta isomman pesukoneen saavutettavuuden merkityksen ollessa pienempi. Nämä näkökulmat tulee ottaa huomioon ennen lopullisen layoutin asennusta, jotta lopputulos olisi paras mahdollinen.

6.6 Siirtymä nykytilasta

Jokaiselle ehdotukselle luonnosteltiin tarvittavat toimenpiteet siirtymiseksi nykytilasta ehdotuksen esittämään layoutiin. Työn liite E esittää kullekin ehdotukselle tehdyn muu-

tostyölistauksen kommentteineen. Muutostöiden suunnittelussa pyrittiin pitämään kemikaalialtaat ja puhdistusprosessi toimintakuntoisena mahdollisimman suuren osan ajasta, minkä vuoksi muutostöiden järjestyksen suunnittelussa pyrittiin resurssien mahdollisimman nopeaan käyttöönottoon. Tämän vuoksi muutostöissä muutoksenalaisena ollut tilan osa viimeistellään mahdollisimman hyvin ennen seuraavaan tilan osaan siirtymistä. Parhaimmassa tapauksessa osa työvaiheista toteutetaan toistensa kanssa samanaikaisesti, jolloin muutosprosessi saadaan suoritettua nopeammin.

Pääpiirteissään jokaisen ehdotuksen muutostyölista on samankaltainen. Muutostyöt alkavat käyttöön tarvittavien tilojen raivaamisesta ja pienen pesukoneen siirrosta uuteen paikkaansa. Tämän jälkeen poistetaan painepesukoppi ja valmistellaan ison pesukoneen käyttöönotto kaivamalla tarvittava upotus. Jotta prosessi pysyy toimintakuntoisena painepesukopin purun jälkeenkin, ehdotetaan väliaikaisen painepesutilan pystyttämistä, kunnes iso pesukone ja sen toimintaympäristö on saatu valmiiksi.

Pesukoneiden asennuksen jälkeen voidaan siirtyä tekemään tarvittavat muutokset turvaltaaseen. Turva-altaan muovaus vaatii alueen nosturin purkamista sekä altaiden irrotusta paikoiltaan, jotta muovaamiseen tarvittavat työkalut saadaan sujuvasti alueelle. Altaat voidaan tuoda takaisin paikoilleen heti, kun niiden asennusalojen kaadot ovat valmiit. Tämän jälkeen voidaan tehdä tarvittavat muutokset altaiden ilmastointiin ja asentaa päivitetyt ohjauskeskukset, minkä jälkeen prosessi on teoriassa mahdollista ottaa rajatusti takaisin käyttöön väliaikaisten lattiarakenteiden avulla. Koska turva-altaan muutostyöt saattavat mahdollisen käyttöönottohetken aikana olla vielä kesken, vaaditaan käytössä kuitenkin suurta varovaisuutta erilaisten ympäristön epävakauksista johtuvien riskien vuoksi. Tästä syystä käyttöönoton viivästyttäminen suositellaan, kunnes turvallas lattiointi on saatu valmiiksi.

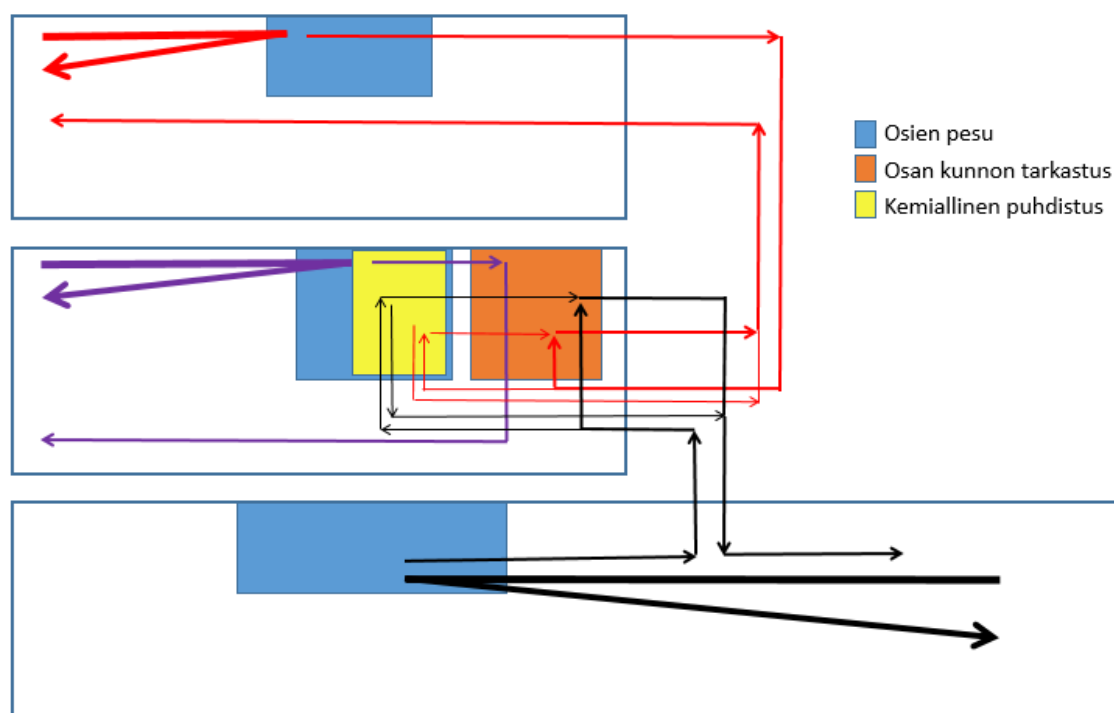
Eri ehdotuksien väliset muutostöiden erot näkyvät lähinnä viimeistelevien töiden eri ajoituksina. Esimerkiksi ehdotuksessa B käsienpesualtaan asennus esiintyy työlistassa muita ehdotuksia aikaisemmin, koska käsienpesuallas on suunniteltu pienen pesukoneen läheisyyteen. Esitettyjen muutostöiden järjestykseen ja sisältöön vaikuttavat myös eri ehdotusten tilalliset lähtökohdat. Esimerkiksi ehdotuksen B muutostöihin voi kuulua erillisen seinän rakentaminen pesukoneiden taakse meluhaittojen pienentämiseksi, jos tuotantotilojen muut toiminnot sitä vaativat. Ehdotuksen C muutostyöt puolestaan voivat muuttua esimerkiksi kemikaalialtaiden asennuspinnan vaatimusten perusteella. Työssä on esitetty alustalle turva-altaaseen nestevirran takaavia kaatoja, joita nykytilanteessa ei ole. Jos tällaisia kaatoja ei haluta tehdä, ei nykyisiä kemikaalialtaita tarvitse välttämättä ollenkaan poistaa paikaltaan.

6.7 Ehdotus tuotantoprosessin ohjaukseen

Puhdistus- ja tarkastusprosesseilla on suurta kuormitusta ja kasaantuvaa työjonoa laitteiden huoltoprosessin alkuvaiheessa, koska laitteen korjaukseen vaadittavien varaosien

tilaus on tehtävä pitkien toimitusaikojen vuoksi hyvissä ajoin ennen osan varsinaista tarvetta. Jos pesemättömät työt ajatellaan vielä aloittamattomiksi, erilaiset työjonot lisäävät tuotannon keskeneräisen työn määrää. Töiden sujuvuuteen, keskeneräisen työn määrään tai resurssien kuormitukseen vaikuttaminen varastoratkaisuin ei käy kysymykseen huoltoon tulevien laitetyyppien ja niissä esiintyvien vaurioiden variaatioiden ja niistä seuraavan varaston arvon ja tilantarpeen kasvun vuoksi. Tämän takia ehdotetaan tilanteeseen puuttumista varasto-ohjauksen sijasta muilla tuotannonohjauksen keinoilla.

Kohdeyrityksen henkilöstöhaastatteluiden perusteella laitteiden osien kunnontarkastus on yksi yrityksen tuotannon pullonkauloista. Sen lisäksi että työvaihe hidastaa töiden etenemistä kasaantuvan työjonon vuoksi, toisessa tarkastuspisteessä tämä työjono myös tukkii kulkuväyliä ja hankaloittaa muiden prosessien saavutettavuutta varsinaisten varastointitilojen puutteen vuoksi. Varastotilojen lisäyksen, tuotannonohjauksen yksinkertaistumisen ja materiaalivirtojen hallittavuuden vuoksi olisi tavoiteltavaa, että kohdeyrityksen nykyisin kahteen paikkaan hajautetut osien tarkastustoiminnot yhdistettäisiin yhteen tilaan. Kuva 10 esittää tuotannon materiaalivirrat kemiallisen puhdistusalueen muutosten ja kunnontarkastuspisteiden yhdistämisen seurauksena. Kun kuvaa 10 verrataan luvun 3.2 kuvaan 3 ja siinä esitettyihin nykytilan materiaalivirtoihin, kuvan 10 esittämät materiaalivirrat tuotantotilojen välillä ovat merkittävästi yksinkertaisemmat.



Kuva 10. Materiaalivirrat kemiallisen puhdistusalueen uudistuksen ja tarkastuspisteiden yhdistämisen jälkeen.

Kun kemiallinen puhdistus ja sitä usein seuraava osien kunnontarkastus ovat fyysisesti lähellä toisiaan, on mahdollista rakentaa visuaalinen ohjaus näiden kahden prosessin välille. Visuaalisen ohjauksen avulla voidaan ajoittaa kemiallisen puhdistusprosessin

töitä siten, että työt pääsevät lähes välittömästi jatkamaan kemiallisesta puhdistuksesta tarkastusprosessiin ja näin siirtyä tuotannossa työntöohjauksesta lähemmäs imuohjauksen periaatteita. Töiden ajoituksella voidaan vähentää kappaleiden tarvitsemia pesukertoja, kun kappaleiden ruostesuojaus eri prosessien välissä vähenee odotusaikojen lyhentyessä. Pesukertojen ja ruostesuojausten tarve vähenee myös, jos kemialliseen puhdistukseen menevät työt tuodaan puhdistusalueen läheiselle trukkihyllylle heti purun jälkeen ja kaikki töiden vaatimat puhdistustoimet tehdään kemiallisella puhdistusalueella vasta, kun työ ylipäättään otetaan tehtäväksi.

Koska kemiallisen puhdistusprosessin ja osien kunnontarkastusprosessin suoritusajat ja läpäisykyvyt ovat erisuuria, prosessien välistä materiaa livirtaa on voitava hallita ajoituksen lisäksi myös volyymin kannalta. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi visualisoidulla tarkastuspisteen kuormitus kahdella työvaunulla. Työvaunun koon tulisi korreloida tarkastuspisteen ja kemiallisen puhdistuksen väliseen työaikaan siten, että tarkastusprosessi tyhjentää vaunun suunnilleen samassa ajassa kuin kemiallisella puhdistusprosessilla kestää sen täyttäminen. Näin ollen, kun toinen työvaunuista tulee tyhjäksi, toimii tämä kaksilaatikko-ohjauksen tyyppisenä kanban-signaalina kemialliselle puhdistusprosessille aloittaa prosessi sellaisille töille, jotka jatkavat kunnontarkastukseen. Sillä aikaa, kun kunnontarkastuksen molemmissa työvaunuissa on töitä, voidaan kemiallista puhdistusprosessia kuormittaa töillä, jotka jatkavat muihin prosesseihin.

Töiden ajoittamisella voidaan jouduttaa tuotantoa myös kunnontarkastusta tarvitsevien töiden osalta, kun verrataan nykyistä mukailevaan tilanteeseen, jossa kaikki kunnontarkastukseen menevät osat priorisoidaan kemiallisessa puhdistuksessa ensimmäiseksi käsiteltäviksi. Tässä tilanteessa kunnontarkastukseen menemättömät työt joutuvat odottamaan, kun kunnontarkastukseen luodaan työhön. Kunnontarkastus ei voi käsitellä sinne tulevia töitä määräänsä nopeammin, minkä vuoksi töiden jonoon tekemisen sijasta aikaa voitaisiin käyttää myös muiden töiden tarpeisiin. Töiden ajoittamisella seuraavan prosessin suhteen on vaikutusta yksittäisten töiden läpimenoajan lisäksi myös työntekijöihin. Suuri prosessin alkua odottava työhön kunnontarkastuspisteen edessä aiheuttaa kunnontarkastajille stressiä, kun työhön koko saa aikaan kiireen tunteen, joka voi näkyä työnlaadun heikkenemisenä.

Töiden erottelu kunnontarkastukseen ja muihin prosesseihin jatkaviin voidaan tehdä lisäämällä kappaleiden kuljetusalustoihin värikoodaus. Esimerkiksi vihreällä voidaan esittää kappaleet, jotka eivät jatka kunnontarkastukseen, ja keltaisella ne, jotka jatkavat. Tämän lisäksi voidaan töiden keskinäisen priorisoinnin helpottamiseksi lisätä esimerkiksi punainen ohjausmerkki niille töille, jotka ovat kiireellisiä. Tällä tavoin kemiallista puhdistusprosessia voidaan ohjata töiden seuraavan vaiheen ja töiden kiireellisuuden mukaan.

Koska osien kunnontarkastus on useamman tuotantotilan jakama prosessi, eivätkä kaikki kunnontarkastukseen menevät osat kulje kemiallisen puhdistuksen kautta, on töiden

ajoituksen signalointiin tehtävä esitettyyn hyvin yksinkertaistettuun menetelmään hienoisia parannuksia. Yksi parannuksista voisi olla esimerkiksi osoittaa jokaiselle kunton tarkastukseen vievälle materiaalivirrälle oma työvaunu, jonka tyhjennettyä uusien osien vienti olisi sallittua. Vaunujen koot voidaan mitoittaa kunkin materiaalivirran suuruuden ja tärkeyden mukaan. Myös työvaunuille asetetut työt voidaan priorisoida keskenään värikoodeilla. Jotta värikoodeja tai muita ohjauksen apuvälineitä ei tarvitsisi jokaisen eri prosessin välissä vaihtaa, tulisi niiden olla ohjauksen yksinkertaistamisen vuoksi koko tuotantoprosessin läpi mahdollisimman yhtenäisiä.

7. YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena on ollut kehittää kohdeyrityksen toimintaa kemiallisen puhdistusprosessin osalta pääasiassa uuden layoutin muodossa ja tarjota kohdeyritykselle muutama erilainen layout-ehdotus. Uudessa layoutissa käytettävien resurssien määrittämiseksi työssä on toteutettu useita kannattavuustarkasteluja ja analyyttisiä arviointoja. Kannattavuustarkastelujen avulla on selvitetty, mitä kemikaaleja prosessiin voidaan taloudelliselta näkökulmalta sisällyttää ja tarkastelun perusteella käyttöönotettaviksi ehdotetaan ruosteen-, karstan- ja kattilakivenpoistoaineita. Maalinpoistoaineen käyttöönotto on kohdeyrityksen viimeaikaisten maalinpoistokustannusten valossa kannattamatonta, mutta käyttöönottoa tulee harkita uudelleen laitteiden maalinpoiston alihankintakustannusten noustessa yli kaksinkertaisiksi nykytilaan verrattuna. Maalinpoiston strategisen arvon ja käyttökustannusten välisen vertailun haasteellisuuden vuoksi layout-suunnittelussa päätettiin jättää maalinpoistoalalle tilavaraus.

Kustannustarkastelulla tutkittiin myös kannattavin huuhtelun toteutustapa. Tarkastelun perusteella kustannusten kannalta paras tapa toteuttaa kappaleiden huuhtelu on osoittaa jokaiselle kemikaalialtaalle oma huuhteluallas, jotta huuhteluvettä voidaan kierrättää takaisin kemikaalialtaaseen ja täten pidentää sekä kemikaalin että huuhteluveden käyttöikää. Käyttöikien pidentyminen vähentää jätteenkäsittelyn kustannuksia ja täten prosessin käyttökustannuksia tarkastelun perusteella vähintään 10 %, riippumatta valitusta jätteenkäsittelymenetelmästä.

Kemikaali- ja huuhtelualtaiden lisäksi kemiallisen puhdistuksen prosessi vaatii toimiakseen myös muita resursseja. Erilaisia resursseja ja skenaarioita käyttäen suoritettiin prosessin maksimikapasiteetin tarkastelu. Kapasiteettitarkastelussa pyrittiin alueen resurssien tasapainoiseen kuormitukseen prosessin resursseja muuttamalla. Vaikka alueen maksimikapasiteetti saavutetaan tilanteessa, jossa prosessiin tuodaan valmiiksi esipestyt kappaleet ja prosessin painepesupaikka ja iso pesukone ovat toisistaan eriytettyjä, on layout-suunnittelussa jouduttu tilavaatimusten ja puhdistettavien kappaleiden ominaisuuksien vuoksi käyttämään toisiinsa integroitua painepesupaikkaa ja isoa pesukonetta sekä pesemään kappaleet alueella alusta alkaen. Tälläkin ratkaisulla saavutettava kapasiteetti on 1,5 -kertainen kohdeyrityksen nykyiseen kapasiteettiin ja koetaan kohdeyrityksen tarpeisiin riittäväksi ainakin kannattaviksi todettujen kemikaalien kanssa. Kapasiteetin riittävyttä ei kuitenkaan voida taata, jos maalinpoisto otetaan käyttöön.

Kemialliseen puhdistukseen käytettävien resurssien määrittelyn jälkeen on voitu aloittaa puhdistusalueen fyysisen layoutin suunnittelu. Tämä on toteutettu hahmottelemalla ensin ruutupaperille suurin piirtein mittakaavassa olevat kuvat ja arvioimalla näitä kuvia

numeerisesti erilaisten kriteerien suhteen. Mitä paremmin hahmotelma täytti arviointikriteerejä, sitä suuremmat pisteet hahmotelma sai ja täten eri hahmotelmat voitiin asettaa paremmuusjärjestykseen. Parhaimmiksi arvioidut hahmotelmat mallinnettiin digitaalisiksi 3D-malleiksi. Mallien avulla verifioitiin eri arviointikriteerien täyttyminen ja tehtiin tilallisten rajoitteiden mukaiset muokkaukset, minkä seurauksena malleista muodostuivat tämän työn layout-ehdotukset.

Layout-ehdotuksia kehitettiin jokaiselle ehdotukselle suoritettujen riskianalyysien tulosten perusteella. Riskianalyysin kartoittamat riskit olivat jokaiselle layout-ehdotukselle pääosin samat, sillä resurssien erilainen keskinäinen sijoittelu ei tuonut uusia riskejä. Merkittävimmät riskit johtuivat kemikaaleista ja mahdollisuudesta niiden roiskumisesta työntekijöiden päälle. Tällaisin riskitilanteisiin ei voida puuttua kuin työntekijöiden omilla toimilla sekä käyttämällä asianmukaisia suojaimia. Tämän perusteella puhdistusalueelle esitetään erillistä suojainkaappia sekä silmähuuhteita ja hätäsuihkua.

Resurssien erilaisesta asettelusta huolimatta layout-ehdotuksissa on erittäin paljon samoja piirteitä, kuten ison pesukoneen upottaminen lattiaan painepesun tukemiseksi, sekä turva-altaan syventäminen jätteenkäsittelykonttien asettamiseksi lattiatason alapuolelle. Osittain näistä samoista piirteistä johtuen myös eri ehdotuksille tehty muutostyölistaukset ovat hyvin paljon toistensa kaltaisia. Resurssien erilainen asettelu kuitenkin tuo eri ehdotuksiin omat etunsa ja heikkoutensa toisiin ehdotuksiin nähden. Ehdotusten erilaisuus antaa kohdeyritykselle mahdollisuuden valita toimintansa kannalta parhaan vaihtoehdon riippuen, onko tärkein valintakriteeri käyttöönottokustannuksissa, tilankäytössä, prosessin tehokkuudessa tai alueen joustavuudessa. Mikä ehdotuksista on kohdeyrityksen toiminnan kannalta paras, on hyvin vahvasti riippuvainen siitä, mitä muuta tuotantotilassa aiotaan tehdä. Näistä muista toiminnoista riippuu kemialliselle puhdistukselle käytettävissä olevan tilan määrä sekä eri resurssien saavutettavuuden tarve muusta tuotantotilasta.

Koska layout-muutoksen yhteydessä on hyvä hetki muuttaa myös kohdeyrityksessä vallinneita toimintatapoja, työssä on esitetty kemialliseen puhdistusprosessiin otettavien töiden ajoitukseen ohjausmenetelmä. Ohjaus perustuu visuaalisiin ohjaimiin, joiden perusteella tiedetään, mihin työ on prosessin jälkeen menossa ja kuinka kiireellinen työ on. Näiden tietojen ja prosessia usein seuraavan laitteiden osien kunnontarkastuksen kuormitus tilanteen tietämyksen avulla voidaan vähentää keskeneräisen työn määrää ja jouduttaa tuotantoa etenkin kunnontarkastusta tarvitsemattomien töiden osalta. Ehdotettua ohjausmenetelmää voitaisiin soveltuvin osin hyödyntää myös tuotantoprosessin muissa vaiheissa. Ohjaustavan muutos vaatii henkilöstön kouluttamista, minkä vuoksi samassa yhteydessä on sopiva hetki kouluttaa työntekijät uudelleen myös kemialliseen puhdistusprosessiin, jotta prosessia jatkossa toteutetaan suunnitellusti.

Jotta prosessista saataisiin entistäkin tehokkaampi, ehdotetaan kappaleiden käsittelyä vähentävien kuljetusalustojen kehittämistä nykyisten prosessikorien tilalle. Tällä kehi-

tyksellä voidaan hyvin suurelta osin poistaa tarve kappaleiden nosteluun kemiallisen puhdistusprosessin vaiheiden välissä. Samoja kuljetusalustoja voitaisiin mahdollisesti käyttää myös kappaleiden kuljetteluun eri tuotantotilojen ja huoltoprosessin vaiheiden läpi, jolloin kappaleiden käsitteleminen vähenisi entisestään.

Toinen kehityskohde kemiallisessa puhdistusprosessissa olisi kemikaali- ja huuhteluvesien täytössä. Nykyiset resurssit pakottavat työntekijöitä vahtimaan nestepintojen korkeuksia ja varmistamaan altaiden käytössä olon jokaisen käyttökerran yhteydessä, kun nestepintojen alenemisen seurauksena altaiden lämmityslaitteisto sammuu. Automaation lisääminen altaiden nestepinnan pitämiseksi sopivalla tasolla vähentäisi paitsi työntekijöiden työtaakkaa ja pitäisi altaat jatkuvasti käyttövalmiina, myös vähentäisi ylitäytön riskiä, kun täyttöhanoja ei jätettäisi vahtimattomina auki. Automaatioasteen nosto pitäisi olla melko helposti toteutettavissa, kun altaisiin on jo liitetty valtaosa automatisoinnin tarvitsemista rajakytkimistä ja muista komponenteista.

Työ täyttää sille asetetut tavoitteet ja parantaa nykyistä kemiallista puhdistusprosessia niin toimintojen helpottumisen ja nopeutumisen kuin turvallisuudenkin näkökulmista. Layout-suunnittelun kohteena ollut kemiallisen puhdistuksen prosessi on nopeampi toteuttaa usein suoritettavien siirtymien lyhentymisen ja kappaleiden käsittelytarpeen vähentymisen johdosta. Ehdotukset ovat nykyistä aluetta turvallisempia erilaisten liukastumis- ja kompastumisriskien vähentyessä sekä turvavälineiden paremman saavutettavuuden vuoksi. Toivottujen toimintojen toteutuksessa on käytetty analyttistä lähestymistapaa kustannusten, tilallisten rajoitteiden ja käytettävyyden kannalta suotuisimpien suunnittelupäätösten tekemiseksi.

LÄHTEET

- [1] Muther R., Practical Plant Layout, McGraw-Hill Book Company, New York, 1955, 363 p.
- [2] Womack J.P., Jones D.T., Lean Thinking, Simon & Schuster, New York, 1996, 351 p.
- [3] Liker J., The Toyota Way, McGraw Hill, New York, 2004, 330 p.
- [4] Burden T., Boerden S., The Lean Extended Enterprise, J. Ross Publishing, Boca Raton, 2003, 272 p.
- [5] Moore J.M., Plant Layout and Design, The Macmillan Company, New York, 1962, 566 p.
- [6] Santos J., Wysk R., Richard A., Torres J.M., Improving Production with Lean Thinking, Wiley, Somerset, 2015, pp. 18-38
- [7] Muther R., Systematic Layout Planning, Industrial Education Institute, Boston, 1961
- [8] Modrák V., Semančo P., Cell Design for Transforming the Job Shop Production Process to Lean, in: Modrák V., Handbook of Research on Design and Management of Lean Production Systems, IGI Global, 2014, pp. 130-146
- [9] Quartermann L. Workcells Design: An Important Step in Achieving Total Quality, IIE Solutions, April 1997, pp. 23-31
- [10] Strategos, Designing Workcells & Micro-Layouts, 9/2007, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.11.2016): <http://www.strategosinc.com/celldesign.htm>
- [11] TechHelp Work Cell Design, verkkoaineisto, 2007. Saatavissa (viitattu 9.11.2016): <http://www.webpages.uidaho.edu/mindworks/Lean/>
- [12] Silverstein D., Samuel P., DeCarlo N., The Innovator's Toolkit: 50+ Techniques for Predictable and Sustainable Organic Growth, Wiley, Somerset, 2013, pp 245-252
- [13] Hobbs D., Lean Manufacturing Implementation, J. Ross Publishing, Boca Raton, 2014, pp. 105-133
- [14] Pirjetä M., Layoutsuunnittelusta, teoksessa INSKO, Tuotantolaitoksen suunnittelu – tuotantomuoto – materiaalivirta – layout, Insinööri-tieto Oy, 1981

- [15] Saifallah B., Machine Sharing in Cellular Manufacturing Systems, in: Kamrani A.K., Parsaei H.R., Liles D.H., (editors), Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems, Elsevier Science, 1995, pp. 203-228
- [16] DriveYourSuccess, Manufacturing Work Cell Optimization: Design, Layout and Analysis, 6/2012, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.11.2016):
<http://www.driveyoursuccess.com/2012/06/manufacturing-work-cell-optimization-design-layout-and-analysis.html>
- [17] Elbert M., Lean Production for the Small Company, Productivity Press, 2012, 295 p.
- [18] Openshaw S., Minder G., Ergonomics and Design – A Reference Guide, Allsteel Inc, 2006, 59 p. Saatavissa (viitattu 11.11.2016):<http://www.allsteeloffice.com/synergydocuments/ergonomicsanddesignreferenceguidewhitepaper.pdf>
- [19] Salonen K., Tuotantolaitoksen rakennussuunnittelu, teoksessa INSKO, Tuotantolaitoksen suunnittelu – tuotantomuoto – materiaalivirta – layout, Insinööritieto Oy, 1981
- [20] Golmohammadi V.R., Jaafari A.A., Bakhshayeshi Baygi M., Esfanji E., Rahimi M., An Approach for Facility Layout Problem, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 Vol III, Hong Kong, March 17-19, 2010, IMECS 2010
- [21] Hardin C.T., Usher J.S., DePuy G.W., Self Organizing Tiles: A New Facilities Layout Method, Proceedings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference, IIE Publications, January 2007, pp. 1358-1363
- [22] Saraswat A., Venkatadri U., Castillo I., A Framework for Multi-Objective Facility Layout Design, Computers & Industrial Engineering, Volume 90, December 2015, pp. 167-176
- [23] Park T., Lee H., Design of A Manufacturing Cell in Consideration of Multiple Objective Performance Measures, in: Kamrani A.K., Parsaei H.R., Liles D.H., (editors), Planning, Design, and Analysis of Cellular Manufacturing Systems, Elsevier Science, 1995, pp. 181-202
- [24] Law A.M., Simulation Modeling and Analysis, 5th edition, McGraw-Hill, 2015, 800 p.
- [25] Esra E.A., Li L., For Effective Facilities Planning: Layout Optimization Then Simulation, Or Vice Versa?, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, IIE Publications, January 2006, pp. 1381-1385

- [26] Maas S.L., Standridge C.R., Applying Simulation to Interactive Manufacturing Cell Design, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, IIE Publications, January 2006, pp. 1392-1400
- [27] Grimard C., Marvel J.H., Standridge C.R., Validation of the Re-Design of a Manufacturing Work Cell Using Simulation, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, IIE Publications, January 2006, pp. 1386-1391
- [28] Olkkonen T., Valmistuskustannuksiin vaikuttaminen, teoksessa INSKO, Tuotannon kannattavuuden suunnittelu ja mittaaminen, Insinööritieto Oy, 1969
- [29] Eida N.R., Siti Z., Shamsuddin A., Group Decision Making Model: Facing a Facility Layout Selection Problems in Manufacturing Organization, technical Postgraduates (TECHPOS), 2009 International Conference for, IEEE, Kuala Lumpur, 2009, pp. 1-4
- [30] Eida N.R., Siti Z., Shamsuddin A., A Review of Facility Layout Selection Models in Manufacturing Organizations, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 Vol III, Hong Kong, March 17-19, 2010, IMECS 2010
- [31] Womack J., Jones D., Roos D., The Machine That Changed the World, Rawson Associates, New York, Collier MacMillan Canada, Inc., Toronto, 1990, 323 p.
- [32] Burbidge J., Production Flow Analysis, Oxford University Press, Oxford, New York, 1989, 179 p.
- [33] Logistiikan maailma, JIT (Just-in-Time) ja imuohjaus. Saatavissa (viitattu 16.11.2016): [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_\(Just-in-time\)_ja_imuohjaus](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_(Just-in-time)_ja_imuohjaus)
- [34] Smalley A., Connecting assembly with Batch Processes Via Basic Pull Systems. Saatavissa (viitattu 16.11.2016): <http://www.lean.org/Library/BatchProcessesByArtSmalley.pdf>
- [35] Lincoln H.F., Syed M.A., Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices, CRC Press, Boca Raton, 2010, 524 p.
- [36] Corke D.K., Production Control in Engineering, Edward Arnold Publishers Ltd, London, 1977, 257 p.
- [37] Eilon S., Elements of Production Planning and Control, The MacMillan Company, Toronto, 1962, 587 p.

- [38] Poltto E., Varastointitarve, teoksessa INSKO, Tuotantolaitoksen suunnittelu – tuotantomuoto – materiaalivirta – layout, 1981, Insinööritieto Oy
- [39] Kurikka A., Kuormitusmenetelmät, teoksessa INSKO, Tuotannonohjaus: valmistuksen ohjausmenetelmät, valmisohjelmat ja pientietokoneet, Insinööritieto Oy, 1977
- [40] Kurikka A., Ajoitusmenetelmät, teoksessa INSKO, Tuotannonohjaus: valmistuksen ohjausmenetelmät, valmisohjelmat ja pientietokoneet, Insinööritieto Oy, 1977
- [41] Safrit M., Basics of the Two-Bin Kanban System, Falcon fastening Solutions, 2014, Saatavissa (viitattu 16.11.2016): <http://falconfastening.com/lean-learning/inventory-management/basics-of-the-two-bin-kanban-system/>
- [42] Leanmanufacture, Two Bin Inventory Management System, Leanmanufacture.net, 2009. Saatavissa (viitattu 16.11.2016): <http://www.leanmanufacture.net/operations/twobininventory.aspx>
- [43] Wong C., Using ABC Analysis for Inventory Control, APICS, 2006. Saatavilla (viitattu 17.11.2016): <http://www.apics-redwood.org/articles/art0302BCW.htm>
- [44] Aaltonen M., Perttula P., Safety, European Agency for Safety and Health at Work, OSHWiki, 2013. Saatavilla (viitattu 18.11.2016): <https://oshwiki.eu/wiki/Safety>
- [45] SFS-EN ISO 12100, Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen = Safety of Machinery. General Principles for Design. Risk Assessment and Risk Reduction, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2010
- [46] European Agency for Safety and Health at Work, OiRA: Free and Simple Tools for a Straightforward Risk Assessment Process, EU OSHA 2009, Saatavissa (viitattu 16.11.2016): <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/oira>
- [47] European Risk Observatory, Scoping Study for a Foresight on New and Emerging Occupational Safety and Health (OSH) Risks and Challenges, , 2014. Saatavilla (viitattu 18.11.2016): <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/scoping-study-for-a-foresight-on-new-and-emerging-osh-risks-and-challenges/view>
- [48] SFS-EN ISO 13849-1, Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet = Safety of Machinery. Safety-Related Parts of Control Systems. Part 1: General Principles for design, Suomen standardoimisliitto, Helsinki, 2015

LIITE A HENKILÖSTÖN HAASTATTELULOMAKE

HAASTATTELULOMAKE

Tuotannonohjaus

1. Työkohtainen ohjaus
2. Osastokohtainen tuotannon suunnittelu ja sen ohjaus
3. Töitten (laitteiden) lukumäärä vuotta kohden
4. Samanaikaisten/päällekkäisten töitten (laitteiden) lukumäärä
5. Eri osastojen väliset osuudet puhdistusalueen kuormituksesta

Yleiset kokemukset

6. Pesuprosessin sijoittuminen läpimenoaikaan
7. Huollettavien laitteiden osien lukumäärä
8. Pestävien osien lukumäärä
9. Kemiallisesti puhdistettavien osien lukumäärä
10. Kemikaalien lisäysten myötä tapahtuva siirtymä mekaanisesta kemialliseen puhdistukseen
11. Osien liikutteluun kuluva aika työvaiheiden välillä
12. Resurssien rajallisuudesta johtuvaa jonotusta/odottelua työvaiheiden välillä (aika ja rajoittava resurssi)
13. Jonon purun koordinoitimet (työjärjestyksen määräytyminen)
14. Laitteen suurimman komponentin mekaaniseen puhdistukseen kuluva aika
15. Puhdistuksessa käytettävien välineiden kulutus
16. Kattilakiven mekaaniseen puhdistukseen kuluva aika (eri laitteissa eri komponentit)
17. Puhdistuksessa käytettävien välineiden kulutus

Kemiallisella puhdistusalueella toimiminen

18. Kappaleelle tehtävät esipuhdistustoimet ennen kemikaalialtaisiin upottamista
19. Odotustiheys kemialliseen puhdistukseen
20. Odotusaika
21. Jonon pituus
22. Kemikaaleilla poistettavat ainekset ja niiden järjestys poistomäärissä
23. Upotusaika
 - kattilakivenpoisto (minimi)
 - kattilakivenpoisto (maksimi)
 - karstan poisto, poistuva aine (minimi)
 - karstan poisto, poistuva aine (maksimi)
 - karstan poisto, koekäytössä oleva aine (minimi)
 - karstan poisto, koekäytössä oleva aine (maksimi)

24. Huuhtelun toteutus, upotuksen pituus ja toteutusmenetelmät
25. Kappaleiden manuaaliseen käsittelyyn kuluva aika
26. Käsittelyiden ja nostojen lukumäärä
27. Jälkipuhdistustoimet
28. Jälkipuhdistukseen kuluva aika
29. Alueella kokonaisuudessaan vietetty aika
30. Prosessin aikana käytetyt työkalut ja välineet (kori ym.)
31. Prosessin aikana käytetyt suojaimet
32. Alueella käyttäytyminen ja käytetyt välineet
 - prosessialtaiden tarkastus
 - korien nouto- ja jättöpaikat
 - kappaleiden asettelufilosofia koreihin
 - yleinen huolellisuus ja varovaisuus
 - tietoisuus altaiden toiminnasta ja sopivista materiaaleista
33. Kemikaalialtaille tehdyt toimenpiteet ja tapahtumatiheys (ainei-
den/veden lisäys/poisto, tilan seuranta)
34. Risut, ruusut, muut kommentit ja kehitysehdotukset

LIITE B RISKIANALYYSI

Riskien analysointiin on käytetty seuraavaa standardin ISO 12100:2010 mukaista arviointitapaa ja arviointipohjaa.

Tapahtuman todennäköisyys:	0,033	Lähes mahdoton
	1	Erittäin epätodennäköinen
	1,5	Epätodennäköinen
	2	Mahdollinen
	5	Saattaa tapahtua
	8	Todennäköinen
Tapahtumatiheys:	0,5	Vuosittain
	1	Kuukausittain
	1,5	Viikoittain
	2,5	Päivittäin
	4	Tunneittain
	5	Jatkuvasti
Vaaran/haitan vakavuus:	0,1	Naarmu tai mustelma
	0,5	Haava tai lievä pahoinvointi
	2	Pienen luun murtuma tai lievä sairaus
	4	Suuren luun murtuma tai vakava sairaus
	6	Yhden aistin tai raajan menetys
	10	Kahden raajan tai kummankin silmän menetys
	15	Kuolema
Vaaran/haitan vaikutusalue	1	1-2 henkilöä
	2	3-7 henkilöä
	4	8-15 henkilöä
	8	16-50 henkilöä
	12	Yli 50 henkilöä
Riskitaso	0-1	Merkityksetön riski
	-5	Erittäin vähäinen riski
	-10	Vähäinen riski
	-50	Huomattava riski
	-100	Vakava riski
	-500	Erittäin vakava riski
	-1000	Äärimmäinen riski
	1000+	Hyväksymättömän korkea riski

Käsiteltävä Layout: _____

Tapahtuma-alue ja -kuvaus: _____
 (huolto, normaali työ...)

Vaaran/haitan kuvaus: _____
 (vahinko ja sen kohde...)

Vaaran/haitan syy: _____
 (terävä reuna, liike...)

Arviointi

Tapahtuman todennäköisyys	
Tapahtumatiheys	
Vaaran/haitan vakavuus	
Vaaran/haitan vaikutusalue	
Vaaran/haitan arviointitulos	

Riskitaso: _____

Tarvittavat toimenpiteet: _____

LIITE D LAYOUT-EHDOTUSTEN ARVIOINTIKRITEERIT

EHDOTELMAN ARVIOINTI

Prioriteetti ominaisuuden tärkeyden mukaan:

2 - vain vähän tärkeä

6 - melko tärkeä

10 - erittäin tärkeä

Ehdotelmien arviointi kriteerin täyttymisen mukaan:

0 - kriteeri ei täyty

2 - täyttyy osin

5 - täyttyy täysin

Kriteeri	Prioriteetti
Käytettävyys	
1 Energiatehokas, kävely ja siirtymät kerrallaan ≤ 10 m	6
2 Energiatehokas, edestakaiset siirtymät ja kävelyt minimoitu (< 2 /läpivienti)	6
3 Toiminnot saavutettavissa nosturilla	10
4 Painepesu suoritettavissa useammalta kuin yhdeltä sivulta (sivun tilavaraus ≥ 2 m)	2
5 Erillisiä painepesun roiskesuojia korkeintaan 2 kpl	6
6 Painepesun roiskesuojien liikuttelu lineaarista	6
7 Altaiden käytössä ei tarvitse kurotella	6
8 Virheellisen käytön riski minimoitu: altaita vastaavista huuhtelualtaista ei voi erehtyä	10
9 Koreille on oma säilytyspaikkansa alueella	6
10 Alueella säilytystilaa työjonolle	2
11 Lattiat puhdistettavissa helposti vesiletkulla	10
12 Leveät kulkuväylät (leveys $\geq 1,5$ m)	10
13 Alueelle vievien kulkuväylien määrä > 1 kpl	6
14 Alueelta on kulkuväylä pääkäytävälle	2
15 Alueelta on kulkuväylä tarkastuspisteelle	2
16 Alueelta on kulkuväylä tuotantotilan perälle	10
17 Alueen pesukoneet ovat saavutettavissa myös alueen ulkopuolelta	10
18 Pesukoneen kaikki täyttösuunnat ovat käytettävissä	6
Turvallisuus	
19 Suojaimille on säilytyspaikka alueella	6
20 Silmähuuhteet ovat saavutettavissa nopeasti (< 5 s)	10
21 Hätäsuihku on saavutettavissa nopeasti (< 10 s)	10
22 Käyttökytkimet ovat eriytettyinä altaista	6

Huollettavuus

23	Henkilönmentävä kulkutie altaiden takaseinälle	6
24	Pääsy koneiden toimintalaitteistoille ja huoltoluukuille	10
25	Huoltotoimenpiteisiin käytettävien tarvikkeiden säilytyspaikat alueella	2
26	Säätötaulukojen saavutettavuus	10

Infrastruktuuri ja tilavaatimukset

27	Laajennuspakko alas < 1 m	10
28	Laajennuspakko leveyssuuntaan (pääkäytävän suuntaan) < 1 m	10
29	Laajennuspakko pituussuuntaan (ltoantotilan perälle) < 5 m	10
30	Ilmastoinnin putkitussuuntia ≤ 2 kpl	2
31	Hyödynniskelvotonta pinta-alaa ei ole	2
32	Voidaan hyödyntää nykyisiä ilmastointiputkia (tarkastuspisteen sivulla 2/4)	2
33	Voidaan hyödyntää nykyisiä ilmastointiputkia (pesukopin paikalla 1/2)	2
34	Laajennusmahdollisuus olemassa	2

LIITE E SIIRTYMÄN MUUTOSTYÖT

Ehdotus A

1. Painepesukopin ympäristön ilmastointiputkituksen purku
2. Tuotantotilan tyhjennys pienen pesukoneen tulevalta paikalta
3. Pienen pesukoneen siirto ja asennus
4. Pienen pesukoneen ilmanvaihtoputkituksen asennus
5. Paineilmalaitteiston asennus pienen pesukoneen lähistölle
6. Painepesukopin purku
7. (Väliaikaisen painepesuteltan pystytys)
8. Pesukone kuopan kaivuu
9. Pesukonekuopan kaatojen muovailu
10. Ison pesukoneen paikoitus ja asennus
11. Ilmanvaihtoputkiston asennus isolle pesukoneelle
12. Lattianalaisten putkien veto pesukonepaikalla
13. Käsienpesualtaan asennus
14. Pesukonekuopan peitto ritilälattialla (jossa tarvittavat luukut huollon tarpeisiin)
15. Roiskesuojaliukuovien asennus
16. Hätäsuihkun asennus
17. (Väliaikaisen painepesuteltan purku)
18. Pienien nosturien purku
19. Kemikaalialtaiden poisto paikoiltaan
20. Ohjauskeskusten poisto paikoiltaan
21. Altaiden sähköjärjestelmien etäännytyt
22. Turva-altaan kaivuu
23. Altaan alaisten kaatojen muovailu takaseinällä
24. Pienten kemikaali- ja huuhtelualtaiden asennus takaseinälle
25. Ilmastointiputkitukset takaseinällä
26. Altaan alaisten kaatojen muovailu tarkastusseinällä
27. Isojen kemikaalialtaiden ja huuhtelualtaiden asennus
28. Tarkastusseinän ilmastointiputkien muutostyöt
29. Ohjauskeskusten asennus
30. Turva-altaan kaatojen muovailu
31. Lattianalaisten kemikaalialtaiden tyhjennysputkien veto
32. Lattianalaisten vesiputkien veto
33. Lattianalaisten kiinnityspisteiden (ison lämmönvaihtimen puhdistukseen) asennus
34. Turva-altaan peitto umpinaisella lattialla (jossa luukut kriittisissä kohdissa & irrotettava osa maalinpoistoaltaan paikalla)
35. Suojainkaapin paikoitus
36. Silmähuuhteiden paikoitus

Ehdotus B

1. Painepesukopin ympäristön ilmastointiputkituksen purku
2. Tuotantotilan tyhjennys pienen pesukoneen tulevalta paikalta
3. Pienen pesukoneen siirto ja asennus
4. Pienen pesukoneen ilmanvaihtoputkituksen asennus
5. Paineilmalaitteiston asennus pienen pesukoneen lähistölle
6. Käsienpesualtaan asennus
7. Painepesukopin purku
8. (Väliaikaisen painepesuteltan pystytys)
9. Pesukone kuopan kaivuu
10. Pesukonekuopan kaatojen muovailu
11. Ison pesukoneen paikoitus ja asennus
12. Ilmanvaihtoputkiston asennus isolle pesukoneelle
13. Lattianalaisten putkien veto pesukonepaikalla
14. Pesukonekuopan peitto rutilälattialla (jossa tarvittavat luukut huollon tarpeisiin)
15. Roiskesuoja-liukuovien asennus
16. Hätäsuihkun asennus
17. (Väliaikaisen painepesuteltan purku)
18. Pienien nosturien purku
19. Kemikaalialtaiden poisto paikoiltaan
20. Ohjauskeskusten poisto paikoiltaan
21. Altaiden sähköjärjestelmien etäännytytys
22. Turva-altaan kaivuu
23. Altaan alaisten kaatojen muovailu takaseinällä
24. Pienten kemikaali- ja huuhtelualtaiden asennus takaseinälle
25. Ilmastointiputkitukset takaseinällä
26. Altaan alaisten kaatojen muovailu tarkastusseinällä
27. Isojen kemikaalialtaiden ja huuhtelualtaiden asennus
28. Tarkastusseinän ilmastointiputkien muutostyöt
29. Ohjauskeskusten asennus
30. Turva-altaan kaatojen muovailu
31. Lattianalaisten kemikaalialtaiden tyhjennysputkien veto
32. Lattianalaisten vesiputkien veto
33. Lattianalaisten kiinnityspisteiden (ison lämmönvaihtimen puhdistukseen) asennus
34. Turva-altaan peitto umpinaisella lattialla (jossa luukut kriittisissä kohdissa & irrotettava osa maalinpoistoaltaan paikalla)
35. Suojainkaapin paikoitus
36. Silmähuuhteiden paikoitus

Tarpeen mukaan voidaan harkita erillisen seinän rakentamista pesukoneiden takaseinustalle, jotta saadaan muun muassa pienennettyä meluhaittoja muualla tuotantotilassa. Muun tuotantotilan käytöllä on vaikutusta tämän ominaisuuden tarpeellisuuteen.

Ehdotus C

1. Painepesukopin ympäristön ilmastointiputkituksen purku
2. Tuotantotilan tyhjennys pienen pesukoneen tulevalta paikalta
3. Pienen pesukoneen siirto ja asennus
4. Pienen pesukoneen ilmanvaihtoputkituksen asennus
5. Paineilmalaitteiston asennus pienen pesukoneen lähistölle
6. Painepesukopin purku
7. (Väliaikaisen painepesuteltan pystytys)
8. Pesukone kuopan kaivuu
9. Pesukonekuopan kaatojen muovailu
10. Ison pesukoneen paikoitus ja asennus
11. Ilmanvaihtoputkiston asennus isolle pesukoneelle
12. Lattianalaisten putkien veto pesukonepaikalla
13. Käsienpesualtaan asennus
14. Pesukonekuopan peitto rutilälattialla (jossa tarvittavat luukut huollon tarpeisiin)
15. Roiskesuoja-liukuovien asennus
16. Hätäsuihkun asennus
17. (Väliaikaisen painepesuteltan purku)
18. Pienien nosturien purku
19. Kemikaalialtaiden poisto paikoiltaan
20. Ohjauskeskusten poisto paikoiltaan
21. Altaiden sähköjärjestelmien etäännytytys
22. Turva-altaan kaivuu
23. Altaan alaisten kaatojen muovailu tarkastusseinällä
24. Pienten kemikaali- ja huuhtelualtaiden asennus tarkastusseinälle
25. Ilmastointipurkitukset takaseinällä
26. Altaan alaisten kaatojen muovailu keskitasanteella
27. Isojen kemikaalialtaiden ja huuhtelualtaiden asennus
28. Tarkastusseinän ilmastointiputkien muutostyöt
29. Ohjauskeskusten asennus
30. Maalinpoistoaltaan paikan lattiapinnan kaatojen muovailu
31. Turva-altaan kaatojen muovailu
32. Lattianalaisten kemikaalialtaiden tyhjennysputkien veto
33. Lattianalaisten vesiputkien veto
34. Lattianalaisten kiinnityspisteiden (ison lämmönvaihtimen puhdistukseen) asennus
35. Turva-altaan peitto umpinaisella lattialla (jossa luukut kriittisissä kohdissa & irrotettava osa maalinpoistoaltaan paikalla)
36. Suojainkaapin paikoitus
37. Silmähuuhteiden paikoitus

Jos tarkastusseinälle ei jatkossakaan haluta kaatoja, altaita ei ole pakko poistaa koko muutostyön aikana. Altaat voidaan siirtää aikaisemmin oikeille paikoilleen ja tehdä tarpeelliset ilmastointiputkien muutokset. Lattian tekeminen osittaisena jo aikaisemmassa vaiheessa mahdollistaisi altaiden pitämisen käytössä lähes koko ajan. Altaiden poistaminen paikoiltaan kuitenkin edesauttaa sähköohjaukseen suunniteltujen muutosten toteutusta, koska kynnys altaiden muuttamiseen pienenee.